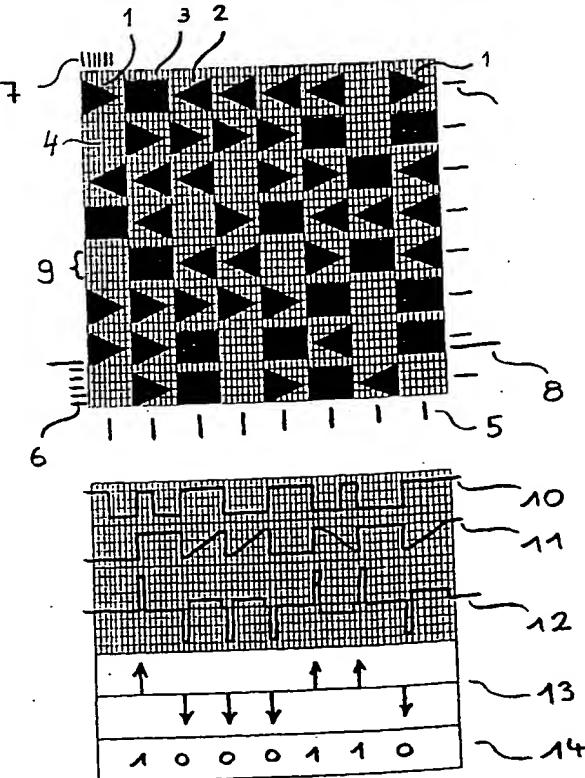




(51) Internationale Patentklassifikation 6 : G01B 11/24, A61B 5/107, G06T 9/20, 7/60		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/60332 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 25. November 1999 (25.11.99)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01277</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 29. April 1999 (29.04.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 21 611.4 14. Mai 1998 (14.05.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): SYRINX MEDICAL TECHNOLOGIES GMBH [DE/DE]; Rungestrasse 19, D-10179 Berlin (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): RUBBERT, Rüdiger [DE/DE]; Leonhardyweg 41, D-12101 Berlin (DE).</p> <p>(74) Anwalt: WEBER - SEIFFERT - LIEKE; Gustav-Freytag-Strasse 25, Postfach 61 45, D-65051 Wiesbaden (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	
<p>(54) Title: DETECTION OF THE SPATIAL STRUCTURE OF A THREE-DIMENSIONAL SURFACE</p> <p>(54) Bezeichnung: ERFASSUNG DER RÄUMLICHEN STRUKTUR EINER DREIDIMENSIONALEN OBERFLÄCHE</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method for detecting the spatial structure of a three-dimensional surface. According to said method, a pattern is projected onto said surface in a direction of projection which defines a first axis, and at least one area of the pattern projected onto the surface is detected with pixels, using one or more sensors, in a direction of processing of said sensor(s). Said processing direction defines a second axis. The first axis and the second axis (or a straight line parallel to the second axis) intersect at an angle other than 0°, forming a triangulation plane. The pattern is defined by a variable physical value which can be detected by the sensor(s), at least for projections into a plane which is vertical in relation to the first axis.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche durch Projizieren eines Musters auf die Oberfläche entlang einer Projektionsrichtung, die eine erste Achse definiert, und durch pixelweise Erfassung mindestens eines Bereiches des auf die Oberfläche projizierten Musters mit Hilfe eines oder mehrerer Sensoren in einer Betrachtungsrichtung des Sensors oder der Sensoren, welche eine zweite Achse definiert, wobei die erste und die zweite Achse (oder eine zur zweiten Achse parallele Gerade) sich unter einem von 0° verschiedenen Winkel schneiden, so daß die erste und die zweite Achse (bzw. die hierzu parallele Gerade) eine Triangulationsebene aufspannen, wobei das Muster mindestens bei Projektion in eine Ebene senkrecht zur ersten Achse durch eine sich ändernde, von dem Sensor (Sensoren) erfaßbare physikalische Größe definiert ist.</p>			



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

ERFASSUNG DER RÄUMLICHEN STRUKTUR EINER DREIDIMENSIONALEN OBERFLÄCHE

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche durch Projizieren eines Musters auf die Oberfläche entlang einer Projektionsrichtung, die eine erste Achse definiert, und durch pixelweise Erfassung mindestens eines Bereiches des auf die Oberfläche projizierten Musters mit Hilfe eines oder mehrerer Sensoren in einer Betrachtungsrichtung des Sensors oder der Sensoren, welche eine zweite Achse definiert, wobei die erste und die zweite Achse (oder eine zur zweiten Achse parallele Gerade) sich unter einem von 0° verschiedenen Winkel schneiden, so daß die erste und die zweite Achse (bzw. die hierzu parallele Gerade) eine Triangulationsebene aufspannen, wobei das Muster mindestens bei Projektion in eine Ebene senkrecht zur ersten Achse durch eine sich ändernde, von dem Sensor (Sensoren) erfaßbare physikalische Größe definiert ist und wobei das Muster derart ausgestaltet ist, daß die Differenz der physikalisch meßbaren Größe, gemessen zwischen vorgebbaren Bildpixeln oder Pixelgruppen entlang einer vorgebbaren, vorzugsweise zur Triangulationsebene parallelen, Pixelreihe mindestens zwei verschiedene Werte annimmt.

Ein solches Verfahren ist beispielsweise bekannt geworden durch das US-Patent 5,615,003.

Das in dieser Patentschrift konkret offenbare Muster hat sehr viel Ähnlichkeit mit den Strichcodes, wie sie schon seit langem z. B. im Einzelhandel zur Identifizierung von Produkten und Preisen Verwendung finden, wobei die Folge unterschiedlich dicker Striche oder Balken eine Reihe von Binärzahlen definiert, die z. B. einem Produkt und seinem Preis eindeutig zugeordnet ist. Für die Zwecke der Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche werden allerdings die Strichbreiten und Abstände zwischen derartigen Strichen je nach der konkreten Struktur der Oberfläche verzerrt, und das bekannte Verfahren zeichnet sich durch Einrichtungen und Maßnahmen aus, die trotz der Verzerrung eine Identifizierung bestimmter Bereiche des Strichmusters ermöglichen, so daß das erfaßte, verzerrte Muster an das projizierte Muster angepaßt werden kann, wobei die Parameter einer solchen Anpassung die Struktur der Oberfläche liefern, welche die genannten Verzerrungen hervorruft.

Ein anderes, ähnliches Verfahren, welches ein kodiertes Muster verwendet, ist aus der deutschen Patentanmeldung 196 38 727 bekannt, wobei dieses Verfahren sich nicht auf die Kodierung eines Musters nur in einer Richtung beschränkt, sondern aus einzelnen unterscheid-

baren Musterelementen mit jeweils ähnlicher Struktur und Größe zusammengesetzt ist, wobei sich die Musterelemente auch in zueinander senkrechten Richtungen wechselseitig voneinander unterscheiden. Ein kodiertes Muster ist dadurch gekennzeichnet, daß zumindest Ausschnitte des Musters, die eine bestimmte Mindestgröße haben, sich an keiner Stelle auf der gesamten Musterfläche wiederholen. Auch wenn diese Forderung nicht im strengen Sinne erfüllt ist, so bedeutet dies, daß durchaus auch Wiederholungen von Musterstrukturen vorkommen können, solange diese Wiederholungen auf der Musterfläche nur hinreichend weit auseinanderliegen, so daß bei der Auswertung einer abgebildeten Musterstruktur eine Verwechslung zwischen zwei zufällig identischen Bereichen des Musters praktisch ausgeschlossen ist.

Alle bisher bekannten Verfahren arbeiten jedoch grundsätzlich nach dem Prinzip der Mustererkennung, d. h. der rechnerisch nachvollzogenen Abbildung des ebenen Musters auf das aus der Betrachtungsrichtung auf einer nichtebenen Oberfläche abgebildete, verzerrte Muster. Dabei treten jedoch immer dann Probleme auf, wenn sich in der Abbildung abhängig von der räumlichen Erstreckung oder sonstigen Ausbildung der Oberfläche der Informationsgehalt des projizierten Musterelementes verändert kann. Wenn z. B. die zu messende und sich ändernde physikalische Größe, durch welche die Musterstruktur definiert wird, die Farbe des Musters oder einzelner Musterelemente beinhaltet, so kann die Interpretation von Farbinformation im projizierten Muster durch eine farbliche Ausgestaltung der Oberfläche gestört oder gar unmöglich gemacht werden. Bei der Verwendung unterschiedlicher Linienbreiten für ein Muster hängt die Linienbreite in der Abbildung nicht nur von Neigungen der Oberfläche in einer Richtung parallel zur Triangulationsebene, sondern auch von Neigungen des Objektes bzw. der Oberfläche bezüglich einer Normalen zur Triangulationsebene. Dies bedeutet, daß bei der Projektion unterschiedlich breiter Linien aufgrund einer ungünstigen Ausbildung der räumlichen Erstreckung der Oberfläche sich beispielsweise eine schmale Linie im Abbild in einer Breite darstellt, die in der Größenordnung des Abbilds einer im projizierten Muster breiten Linie liegt und dementsprechend bei der Auswertung zu einer falschen Information führen kann.

Außerdem stellt die Auswertung kodierter Muster mit unterschiedlicher geometrischer Ausbildung von Musterelementen sehr hohe Anforderungen an die auswertende Datenverarbeitung, da sich im Abbild die Geometrie der projizierten Musterelemente stark verzeichnet wiederfinden kann.

Gegenüber dem vorstehend geschilderten Stand der Technik ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen

Musterelement zum anderen besonders markant sind und damit deutlich erfaßt werden oder wenn bestimmte Bereiche einzelner Musterelemente starke Änderungen der zu messenden physikalischen Größe in Zeilenrichtung der Bildpixel aufweisen und damit als gut lokalisierbarer Mustererkennungspunkt dienen.

Dabei ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besonders bevorzugt, bei welcher mindestens zwei Typen von Musterelementen vorgesehen sind, in deren Bereich die physikalische Größe jeweils ein konstantes Niveau bzw. einen konstanten Wert hat, wobei sich dieser Wert der betreffenden physikalischen Größe zwischen den beiden Typen von Musterelementen jeweils deutlich meßbar unterscheidet. Auf diese Weise können sehr einfach die Übergänge von einem Musterelement des ersten Typs zu einem Musterelement des zweiten Typs und umgekehrt festgestellt werden. Die Differenzen, die zwischen benachbarten Pixeln bzw. Pixelgruppen gebildet werden, nehmen bei derartigen Musterelementen den Wert Null an, wenn sich die zu vergleichenden Pixel bzw. Pixelgruppen innerhalb desselben Musterelementes befinden und nehmen den deutlich meßbaren Unterschiedswert zwischen den beiden Typen von Musterelementen an, wenn das eine Pixel bzw. die eine Pixelgruppe das eine der beiden Musterelemente abbildet, während das benachbarte Pixel bzw. die benachbarte Pixelgruppe das jeweils andere Musterelement abbildet. Auf diese Weise ergeben sich an den Übergängen von einem Musterelement zum anderen jeweils deutlich meßbare Änderungen und insofern auch Meßpunkte zur Identifizierung der Musterstruktur und der Lage dieser Übergänge. Dies gilt selbst dann, wenn die Oberflächeneigenschaften des untersuchten Gegenstandes sich im projizierten Musterbereich erheblich ändern, so daß die gleichen Übergänge zwischen identischen Musterelementen, jedoch an verschiedenen Orten der Oberfläche, deutlich verschiedene Differenzen zeigen und dennoch als gleichartige Übergänge erkannt werden, weil die Differenz sich in beiden Fällen immer noch deutlich von anderen auftretenden Differenzwerten (zum Beispiel dem Differenzwert Null) unterscheiden.

Darüberhinaus ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bevorzugt, bei welcher mindestens ein Typ bzw. ein weiterer Typ eines Musterelementes vorgesehen ist, in dessen Flächenbereich sich entlang einer vorgegebenen Richtung der Wert der zu erfassenden physikalischen Größe kontinuierlich verändert. Bei einem derartigen Musterelement sind die Änderungen der physikalischen Größe zwischen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen im allgemeinen relativ klein, wobei aufgrund der kontinuierlichen Veränderung der physikalischen Größe im Bereich bzw. in einem Teilbereich dieses Musterelementes diese Änderungswerte zwischen allen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen jeweils gleich sind. Erst beim Übergang zu einem anderen Musterelement oder aber wenn man einen Bereich des Musterelementes

erreicht, in welchem die physikalische Größe sich nicht mehr kontinuierlich entsprechend dem vorher definierten Maß ändert, kann eine größere Differenz der physikalischen Größe zwischen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen auftreten, die wiederum charakteristisch für einen bestimmten Bereich des Musters ist.

Besonders bevorzugt ist dabei eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei welcher zwei Typen derartiger Musterelemente mit kontinuierlicher Änderung der physikalischen Größe innerhalb mindestens eines Teilbereiches dieser Musterelemente vorgesehen ist, wobei sich diese beiden Typen voneinander dadurch unterscheiden, daß entlang der vorgegebenen Richtung bezüglich der fortschreitenden Vergleiche benachbarter Pixel oder Pixelgruppen das Vorzeichen der Änderung der physikalischen Meßgröße gerade umgekehrt ist. In dem betreffenden Flächenbereich des Musterelementes eines ersten Typs nimmt also der Wert der interessierenden physikalischen Größe z. B. von Pixel zu Pixel jeweils um den gleichen Wert zu, während dieser Wert bei dem anderen Typ von Musterelement von Pixel zu Pixel jeweils um einen entsprechenden Betrag abnimmt.

Beim Übergang zu einem benachbarten Musterelement können allerdings erheblich größere Differenzen in den Werten der physikalischen Größe zwischen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen auftreten.

Die Musterelemente mit einer mindestens bereichsweise mehr oder weniger kontinuierlichen Änderung der physikalischen Größe ermöglichen es, daß man beim Übergang zu benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen am Übergang zu einem weiteren Musterelement einen deutlichen Sprung der physikalischen Größe jeweils in derselben Richtung erhalten kann, während bei den zuvor definierten Typen von Musterelementen, innerhalb deren Flächenbereich die physikalische Meßgröße jeweils einen konstanten Wert hat, das Vorzeichen der Änderung beim Übergang zum nächsten Musterelement, sofern überhaupt eine Änderung vorhanden ist, eindeutig durch den Wert der physikalischen Größe in dem voraufgehenden Musterelement festgelegt ist.

Die Änderung kann dabei zwar zwei verschiedene Werte annehmen, die sich jeweils um ihr Vorzeichen voneinander unterscheiden, je nachdem von welchem der zwei Typen von Musterelementen aus der Übergang zu dem jeweils anderen Typ stattgefunden hat, jedoch kann nach einer zuvor erfolgten positiven Änderung des Wertes der physikalischen Meßgröße bei derartigen Musterelementen beim Übergang zum nächsten Musterelement nur eine negative oder keine Änderung erfolgen und umgekehrt. Dagegen ist es bei den Typen von Muster-

Oberfläche zu schaffen, welches von verschiedenen Neigungen bezüglich einer Normalen zur Triangulationsebene und auch von den sonstigen Oberflächeneigenschaften, welche unabhängig von der räumlichen Erstreckung der Oberfläche die zu messende physikalische Größe beeinflussen können, weitgehend unabhängig ist.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß zur Auswertung der abgebildeten Musterstruktur jeweils nur Änderungen der physikalischen Größe zwischen den vorgebenen Pixeln oder vorgegebenen Pixelgruppen einer oder mehrerer, vorzugsweise zur Triangulationsebene parallelen, Pixelreihen erfaßt und in räumliche Koordinaten der Oberfläche umgerechnet werden.

Dabei werden die Änderungen der physikalischen Größe mindestens in ihrer zur Triangulationsebene parallelen Komponente erfaßt und in räumliche Koordinaten umgerechnet.

Dadurch daß lediglich Änderungen der zu erfassenden physikalischen Maßgröße des Musters, vorzugsweise zwischen benachbarten Pixeln oder benachbarten Pixelgruppen, erfaßt werden, werden spezielle Oberflächeneigenschaften gleichsam eliminiert, da die Oberflächenbereiche, die vor allem durch benachbarte Pixel abgebildet werden, im Regelfall die gleichen Eigenschaften haben. Auch die Neigung der Oberfläche gegenüber einer Normalen zur Triangulationsebene wirkt sich in keiner Weise auf die Erfassung und gegebenenfalls Identifizierung der Musterstruktur aus, da nicht das Muster hinsichtlich seiner speziellen Maße und Formen erfaßt und mit dem ursprünglichen Projektionsmuster verglichen und angepaßt wird, sondern da lediglich die in vorgebenen, vorzugsweise benachbarten, Pixeln oder Pixelgruppen gemessenen Werte der interessierenden physikalischen Größe miteinander verglichen werden, konkret durch Bilden der Differenz. Das konkret abgebildete Muster ergibt sich dann einfach anhand charakteristischer Veränderungen der physikalischen Größe von bestimmten Pixeln zu anderen vorgebenen Pixeln, vor allem ihren Nachbarpixeln, bzw. von bestimmten Pixelgruppen zu anderen vorgegebenen, vorzugsweise benachbarten, Pixelgruppen, oder entlang einer anderen geeigneten Folge von miteinander zu vergleichenden Pixeln.

Da erfindungsgemäß die Änderung der in den Bildpixeln erfaßten bzw. wiedergegebenen Werte der konkret ausgewerteten physikalischen Größe mindestens zwei verschiedene Werte annehmen kann, lassen sich durch diese unterschiedlichen Änderungswerte, die von Pixel zu Pixel bzw. von Pixelgruppe zu Pixelgruppe auftreten können, Strukturen definieren und wiedererkennen, ohne daß die speziellen Eigenschaften der Oberfläche dabei eine Rolle spielen.

Zweckmäßigerweise wird das Muster so ausgerichtet, daß sich in einer vorgebenen Meßrichtung, entlang welcher Pixel oder Pixelgruppen miteinander verglichen werden, mindestens teilweise dem Betrag nach maximale Änderungswerte ergeben, während die übrigen auftretenden Änderungswerte dem Betrag nach vergleichsweise klein sind oder den Wert Null haben.

In einer bevorzugten Variante der bevorzugten Erfindung werden jeweils mehrere in einer Spalte übereinanderliegende Pixel von in Spaltenrichtung benachbarten Pixelreihen zu einer Pixelgruppe zusammengefaßt, und es werden die Änderungen der physikalischen Größe und jeweils zwischen derartigen in Zeilenrichtung benachbarten Pixelgruppen ausgewertet. Es könnten jedoch auch Gruppen von benachbarten Pixeln verglichen werden, die jeweils aus mehreren, in Zeilenrichtung nebeneinanderliegenden Pixeln bestehen. In einer Variante dieser Ausgestaltung können die zu je einer Gruppe zusammengefassten Pixel aus mehreren Zeilen auch jeweils gegeneinander versetzt sein, also aus verschiedenen, vorzugsweise aber nahe beieinander liegenden Spalten stammen.

Es versteht sich im übrigen, daß die "Zeilen" und "Spalten" von Pixeln eines Bildsensors oder Bildes, so wie diese Begriffe im Rahmen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden, nicht notwendigerweise entlang gerader und einander senkrecht schneidender Linien verlaufen müssen.

Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform der Erfindung, bei welcher das Muster als kodiertes Muster ausgebildet ist, wobei diese Anforderung nicht im strengen Sinne zu verstehen ist.

Zweckmäßigerweise sind die Musterstrukturen im Vergleich zur Gesamtausdehnung des Musters relativ klein, und auch die Mindestgröße der Flächenbereiche, die eine Musterstruktur aufweisen, welche sich nicht wiederholt, sollte im Vergleich zur Gesamtfläche des Musters möglichst klein sein, da sich auf diese Weise die jeweiligen eindeutig identifizierbaren Musterstrukturen entsprechend genau lokalisieren lassen. In hinreichend großem Abstand dürfen jedoch bei manchen Anwendungsfällen auch Musterwiederholungen auftreten.

Weiterhin ist eine Ausgestaltung der Erfindung bevorzugt, bei welcher das Muster von einzelnen Musterelementen gebildet wird, die in einer Ebene senkrecht zur Projektionsrichtung jeweils in etwa gleich große Flächen beanspruchen. Die gleich großen Flächenbereiche einzelner Musterelemente erleichtern die Auswertung, wenn z. B. Übergänge von einem

elementen, die eine bereichsweise kontinuierliche Änderung aufweisen, die aber zwischen jeweils benachbarten Pixeln innerhalb dieser Bereiche relativ klein ist und deshalb ignoriert werden kann, der Wert der physikalischen Größe kontinuierlich immer wieder auf einen zuvor schon erreichten Wert gebracht werden, der dann beim Übergang zum nächsten Musterelement oder auch innerhalb des gegebenen Musterelementes abrupt geändert wird, wobei diese abrupte Änderung als charakteristisches Strukturelement des Musters erfaßt wird und eine bestimmte Richtung bzw. ein bestimmtes Vorzeichen hat, wobei ohne weiteres Änderungen mit dem gleichen Vorzeichen oder etwa mit entgegengesetzten Vorzeichen sich anschließen können, je nachdem welcher Typ von Musterelement der nächstfolgende und der als übernächstes folgende ist.

Bei solchen verschiedenen Typen von Musterelementen ist es selbstverständlich zweckmäßig, wenn diese Typen in einer kodierten Verteilung auf der Fläche des projizierten Musters angeordnet sind, wobei der Begriff der kodierten Verteilung oben bereits erläutert wurde. Ein bevorzugtes Beispiel einer kodierten Verteilung ist einfach eine Zufallsverteilung der verschiedenen Typen von Musterelementen auf der gesamten Projektionsfläche. Besonders bevorzugt ist es dabei, wenn alle vorstehend definierten Typen von Musterelementen, d. h. sowohl diejenigen, innerhalb deren Flächenbereich die physikalische Größe jeweils ein konstantes Niveau hat, als auch diejenigen, die einen Flächenbereich haben, innerhalb dessen die physikalische Größe sich jeweils kontinuierlich ändert, für die Erzeugung eines solchen Musters verwendet werden.

Zweckmäßigerweise sollte der Flächenbereich eines Musterelementes in der Abbildungsebene maximal eine Anzahl von $m \times n$ Pixeln entsprechen, wobei m und n jeweils größer als 2 sind, gleichzeitig m jedoch deutlich kleiner als M , und n deutlich kleiner als N ist, wenn $M \times N$ die Gesamtzahl der erfaßten bzw. abgebildeten Bildpixel ist.

Dabei ist es weiterhin zweckmäßig, wenn für die Musterkodierung und Identifikation von Musterelementen bzw. charakteristischen Bereichen des Musters nur Änderungen ausgewertet werden, welche größer sind als die Änderungen zwischen benachbarten Pixelgruppen innerhalb derjenigen Musterelementtypen, die mindestens teilweise eine kontinuierliche Änderung der physikalischen Größe aufweisen. Bereits weiter oben wurde schon erwähnt, daß die kleinen Änderungen der physikalischen Größe, die entlang dieses Bereiches zwischen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen auftreten, im Vergleich zu den relativ starken Änderungen, die zwischen benachbarten Musterelementen auftreten können, ignoriert werden können.

Darüberhinaus ist eine Ausführungsform der Erfindung bevorzugt, bei welcher zwei Messungen mit relativ zueinander abgewinkelten Triangulationsebenen vorgenommen werden, wobei bei den beiden Messungen die Triangulationsebenen vorzugsweise um ca. 90° gegeneinander abgewinkelt sind.

Es erleichtert die Auswertung der Bilddaten wesentlich, wenn bei der Projektion des Musters auf eine Referenzebene die Abbildung der Zeilen des Musters auf dem Bildwandler im wesentlichen parallel zu den Zeilen des Bildwandlers erfolgt. Als Referenzebene wird hier diejenige Ebene bezeichnet, die auf folgende Weise gebildet wird: (i) es wird eine Hilfsgerade definiert, die parallel zur optischen Achse der Projektionseinheit verläuft und die optische Achse der Aufnahmeeinheit schneidet, wobei die durch diese Gerade und die optische Achse der Aufnahmeeinheit aufgespannte Ebene im Sinne dieser Erfindung als "Triangulationsebene" bezeichnet wird; (ii) die Winkelhalbierende der optischen Achse der Aufnahmeeinheit und der Hilfsgeraden wird als Normalenvektor der Referenzebene festgelegt (die Referenzebene liegt damit senkrecht zur Triangulationsebene); (iii) die Referenzebene wird so gelegt, daß der Abstand zwischen den Durchstoßpunkten der beiden optischen Achsen durch die Referenzebene minimal ist. Diese Definition trägt der Tatsache Rechnung, daß sich die beiden optischen Achsen bei einer realen Vorrichtung nicht exakt schneiden werden, auch wenn dies konstruktiv vorgesehen ist. Wenn nun die Zeilen des Musters parallel zur Triangulationsebene verlaufen, so wird das Abbild dieser Zeilen auf dem Bildwandler parallel zu den Zeilen des Bildwandlers verlaufen. Bei der Projektion dieses Musters auf eine Oberfläche, die nicht der Referenzebene entspricht, wird die Abweichung von der Parallelität lediglich klein zweiter Ordnung sein.

Vorteilhaft ist es auch, wenn das Muster derart ausgebildet ist und die Projektion dieses Musters in der Art erfolgt, daß sich bei Projektion des Musters auf eine zur Triangulationsebene senkrecht liegende ebene Fläche mit einheitlicher Oberflächenausbildung eine in Zeilen geordnete Struktur ergibt, diese Zeilen parallel zur Triangulationsebene liegen und sich die charakteristischen vorstehend benannten Maße der Änderung entlang dieser Zeilen ergeben.

Weiterhin ist es zweckmäßig, wenn (i) das Muster unter Verwendung einer Strahlquelle und geeigneter optischer Mittel auf das zu vermessende Objekt projiziert wird; (ii) das zu projizierende Muster flächig, mit im wesentlichen rechtwinklig zueinanderstehenden Zeilen und Spalten mit jeweils gleichmäßiger Teilung ausgebildet ist und in der sich daraus ergebenden Teilung unterschiedliche geometrische Elemente angeordnet sind, die optisch durchlässig, undurchlässig oder teildurchlässig sind; (iii) die Transparenz der teildurchlässigen Elemente in Zeilenrichtung sowohl stetig von undurchlässig zu durchlässig zunimmt oder von durchlässig

zu undurchlässig abnimmt; (iv) die geometrischen Elemente im zu projizierenden Muster derart angeordnet sind, daß sich in der Teilung der Spalten zwischen den geometrischen Elementen ein Wechsel von durchlässig zu undurchlässig oder von undurchlässig zu durchlässig derart ergibt, daß aus dem über das Muster verteilten unterschiedlichen Vorzeichen des Maßes der Änderung im Teilungsraster der Spalten sich aus der Bildaufnahme des projizierten Musters von beliebig begrenzten zusammenhängenden Flächensegmenten des Objektes hinreichender Größe eine eindeutige Zuordnung zu der jeweiligen projizierten Musterpartie bestimmen läßt; (v) die vom Objekt reflektierte Strahlung zumindest in Teilen durch geeignete optische Mittel auf einen flächigen CCD-Bildwandler, dessen strahlungsempfindliche Elemente ebenfalls in Zeilen und Spalten organisiert sind, abgebildet und von diesem in ein elektrisches Signal gewandelt wird und in diesem elektrischen Signal der Informationsgehalt der vom Objekt reflektierten Anteile des projizierten Musters zumindest in Teilen enthalten ist; (vi) die Richtungen der optischen Achsen für die Projektion des Musters und für die Abbildung des Objektes auf den Bildwandler voneinander verschieden sind; (vii) die Zeilen des zu projizierenden Musters parallel zur Ebene, die von den optischen Achsen für die Projektion und für die Abbildung der reflektierten Strahlung auf den Bildwandler gebildet wird, ausgerichtet sind; (viii) die elektrischen Signale des Bildwandlers in diskrete Daten umgewandelt und einer Einheit für die Verarbeitung und Speicherung von Daten zugeführt werden; (ix) die Daten der strahlungsempfindlichen Elemente des Bildwandlers in Zeilen, die parallel zu der Triangulationsebene liegen, hinsichtlich des Maßes der Änderung der Strahlungsintensität ausgewertet werden; (x) die sich dabei ergebenden Flanken bei im wesentlichen sprunghaften Änderungen entsprechend dem jeweiligen Vorzeichen des Maßes der Änderung den binären Informationselementen Null und Eins zugeordnet werden und (xi) die sich ergebenden Binärfolgen dazu dienen, Teile des Musters von anderen Teilen des Musters zu unterscheiden.

Besteht beispielsweise ein Muster (i) aus schachbrettartig angeordneten schwarzen und weißen Elementen, wird (ii) das Muster unter Verwendung von sichtbarem Licht und geeigneten optischen Mitteln auf ein weißes Objekt mit beliebiger dreidimensionaler Erstreckung projiziert, wird (iii) von dem Objekt ein Abbild unter Verwendung geeigneter optischer Mittel auf einem flächigen Bildwandler erzeugt, ist (iv) die Projektionsrichtung verschieden von der Aufnahmerichtung, wird (v) das Signal des Bildwandlers digitalisiert, in einer elektronischen Speichereinrichtung zwischengespeichert und einer Datenverarbeitungseinheit zugeführt, ist (vi) der Bildwandler in rechtwinklig zueinander stehenden Zeilen und Spalten organisiert, ist (vii) das Muster in der Projektionseinrichtung derart positioniert, daß sich die Zeilen des schachbrettartigen Musters in Richtung der Zeilen des Bildwandlers erstrecken, sind (viii) sowohl die Projektionseinrichtung als auch die Aufnahmeeinrichtung

derart ausgebildet und positioniert, daß der Triangulationswinkel zu einer Verzeichnung des Abbilds des schachbrettartigen Musters in Spaltenrichtung des Bildwandlers erstreckt (mit anderen Worten: erstreckt sich die vom Triangulationswinkel aufgespannte Ebene in Richtung der Spalten des projizierten Musters wie auch des Bildwandlers), ist (ix) die Ausbildung der Musterelemente größer als die Auflösung des Bildwandlers, so lassen sich im Bildspeicher Werte finden, die die Zeileninformation des Bildwandlers repräsentieren und die den Helligkeitswerten der weißen und schwarzen Elemente des schachbrettartigen Musters entsprechen. Wertet man (x) diese Informationen entlang der entsprechenden Zeile des Bildwandlers aus, ergeben sich sprungartige Änderungen der Helligkeitsinformationen entsprechend dem Raster des projizierten Musters. Die Abweichungen der maßlichen Verhältnisse der Helligkeitssprünge entlang einer Bildzeile gegenüber dem entsprechenden projizierten Muster repräsentieren bei bekanntem Strahlengang die räumliche Erstreckung des Objektes. Ist (xi) das Objekt im betrachteten Bereich hinreichend stetig und sowohl aus der Projektions- als auch aus der Aufnahmerichtung optisch zugänglich, ergeben sich in der Folge der Zeileninformation alternierend Helligkeitssprünge von hell nach dunkel und von dunkel nach hell. Werden (xii) die Helligkeitsinformationen durch die Digitalisierung als numerische Werte mit einer zu den Helligkeitswerten proportionalen Zuordnung dargestellt und berechnet man (xiii) die Helligkeitsänderung entlang der bezeichneten Spalte des Bildwandlers aus der Differenz zwischen dem jeweiligen Helligkeitswert an einer bestimmten Stelle und der Helligkeitsinformation der in Zeilenrichtung nachfolgenden Bildstelle, ergeben sich abwechselnd positive und negative Werte, die dem Maß der Helligkeitsänderung entsprechen. Interpretiert man diese diskrete Folge von Werten als Helligkeitssignal, kann von positiven bzw. negativen Flanken dieses Signals gesprochen werden.

In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Bilddaten, die das aufprojizierte Muster mit der benannten statistischen Verteilung der Musterelemente und damit die entsprechende Kodierung repräsentieren, bezüglich der einzelnen Musterelemente dahingehend überprüft, ob sich anhand der Aufnahme der Informationsgehalt des einzelnen Elementes eindeutig erkennen läßt. Ist diese Eindeutigkeit nicht gewährleistet, ist das entsprechende Musterelement von der weiteren Datenverarbeitung auszuschließen. Aus den eindeutig zu erkennenden Musterelementen werden durch Flankenerkennung und -auswertung im weiteren die Informationselemente generiert und benachbarte eindeutig erkannte Informationselemente sogenannten Clustern zugeordnet. Ein Cluster ist im Sinne dieser Erfindung eine Gruppe benachbarter Informationselemente. Aus dem Vergleich der decodierten Informationen des aufgenommenen, auf das Objekt aufprojizierten Musters mit dem zu projizierenden Musterinhalt kann die Plausibilität der Anordnung der decodierten Informationen überprüft

werden. Kommt es hierbei zu Abweichungen, wird das abweichende Informationselement falsifiziert und ausgesondert. Falls das entsprechende Informationselement am Rand des Clusters liegt, ergibt sich eine entsprechend korrigierte Begrenzung. Falls das Informations-element in der Mitte eines Clusters liegt, ist unter Umständen das Cluster zu teilen und die eindeutige Zuordnung beider sich ergebenden Teilcluster neu zu überprüfen. Sofern sich die kleineren Cluster nicht eindeutig zuordnen lassen, sind sämtliche entsprechende Informations-elemente zu falsifizieren und auszusondern. Im Ergebnis sind in den Clustern zusammen-hängende Oberflächensegmente dargestellt, deren Musterelemente des aufprojizierten Musters sich aufgrund des im Cluster verfügbaren Informationsgehalts der aneinander grenzenden Musterelemente eindeutig zu dem entsprechenden Musterelement im zu projizierenden Muster zuordnen lassen. Aus der Position beispielsweise des Schwerpunktes oder der sich ergebenden Flanken im Abbild im Vergleich zu der Anordnung im zu projizierenden Muster lassen sich Flanken im Abbild dreidimensionale Koordinaten als Stützpunkte der Oberfläche des Objektes berechnen. Jeweils drei benachbarte nicht in einer Reihe liegende Stützpunkte lassen sich erfindungsgemäß vorteilhaft als Dreieck und damit auch als dreieckige Fläche definieren, so daß eine bei anderen Verfahren erforderliche Flächenrückführung aus einer Punktwolke nicht erforderlich ist. Im Ergebnis dieser Analyse und Berechnung der Bildinformationen aus einem Einzelbild sind digitale Abbilder von eindeutig in ihrer Gestalt bestimmten zusammen-hängenden Oberflächensegmenten des Objektes verfügbar. Diese gegebenfalls nicht zusammenhängenden Segmente sind jedoch in ihrer dreidimensionalen Position und Ausrichtung zueinander bekannt.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels und der zugehörigen Figuren. Es zeigen:

- Figur 1 einen Ausschnitt aus einem kodierten Muster und im unteren Teil Aspekte einer Auswertestrategie,
- Figur 2 zwei Abbildungen einer gekrümmten Fläche mit einem darauf projizierten Muster, und
- Figur 3 Abbildungen eines menschlichen Kopfes mit und ohne darauf projiziertes Muster, jeweils unter verschiedenen Blickrichtungen.

Figur 1 zeigt im oberen Bereich einen Ausschnitt aus einem kodierten Muster, und zwar in einer zur Projektionsachse senkrechten Ebene, und im unteren Bereich die Strukturen, die sich durch das Auswertungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ergeben.

In dem Muster gemäß Figur 1 erkennt man ein quadratisches Feld von 8 x 8 Musterelementen mit insgesamt vier verschiedenen Musterelementtypen. Gleichzeitig ist über das abgebildete Muster auch ein Gitternetz von Bildpixeln gelegt, auf welches ein entsprechendes Muster abgebildet werden kann. Wie man erkennt, beansprucht jedes Musterelement einen Flächenbereich von 8 x 5 Bildpixeln. Die vier verschiedenen Musterelementtypen sind allesamt innerhalb des oberen linken Bereiches von 3 x 2 Musterelementen erkennbar. Als physikalisch meßbare Größe für die Identifizierung der Musterstrukturen kann hier beispielsweise der Schwärzungsgrad eines Pixels oder aber der Schwärzungsgrad einer Gruppe jeweils fünf übereinanderliegender Pixel verwendet werden. Umgekehrt könnte man selbstverständlich auch ein Negativ dieses Musters verwenden, in welchem schwarze gegen weiße Flächen ausgetauscht wären.

Bei dem Musterelement ganz oben links in Figur 1 hat man am linken Rand den maximal auftretenden Schwärzungsgrad dieses Musters, wobei anschließend der Schwärzungsgrad von links nach rechts kontinuierlich abnimmt und konkret erfaßt werden könnte als Summe der Schwärzungsgrade aller fünf Pixelelemente in einer Spalte übereinander, die in den Flächenbereich dieses Musterelementes fallen. Die achte Gruppe aus in einer Spalte übereinander angeordneten fünf Pixeln dieses Musterelementes weist keinerlei Schwärzungsgrad mehr auf und ist vollständig weiß. Rechts daneben folgt ein weiteres Musterelement 3, welches über seine ganze Fläche hinweg den maximalen Schwärzungsgrad hat. Dieses Musterelement 3 ist hier konkret mit der Bezugszahl 1 bezeichnet.

Das nächstfolgende Musterelement 2 ist dem Musterelement 1 weitgehend ähnlich, mit dem einzigen Unterschied, daß der Schwärzungsgrad der acht spaltenweise angeordneten Pixelgruppen dieses Musterelements von links nach rechts kontinuierlich zunimmt, während er beim Musterelement 1 kontinuierlich abnahm.

Unter dem Musterelement 1 ist ein Musterelement 4 erkennbar, welches sich von dem Musterelement 2 dadurch unterscheidet, daß es auf seiner gesamten Fläche keinerlei Schwärzungsgrad hat. Charakteristisch sind für das Muster vor allem die Übergänge zwischen benachbarten Musterelementen, die einen Übergang von weiß nach schwarz oder von schwarz nach weiß bilden können, wobei die Musterelemente 1 und 3 es auch ermöglichen, daß sich identische Übergänge von schwarz nach weiß bzw. von weiß nach schwarz an aufeinanderfolgenden Musterelementen mehrfach wiederholen.

Im einzelnen soll dies nun anhand des unteren Bereiches der Figur 1 erläutert werden. Man

betrachtet z. B. im oberen Teil der Figur 1 die mit 8 bezeichnete Reihe von Pixeln in der (von oben gezählt) 7. Reihe von Musterelementen des Musters. Wenn man diese Pixelzeile 8 von links nach rechts durchläuft und in vertikaler Richtung jeweils den Schwärzungsgrad des erfaßten Pixels aufträgt, so ergibt sich der in der Zeile 10 des unteren Bildteiles dargestellte Verlauf des Schwärzungsgrades. Zunächst ist in der Zeile 8 von Pixeln der Schwärzungsgrad auf einem Maximalwert, springt dann beim Übergang vom dritten auf das vierte Pixel dieser Reihe auf einen minimalen Wert, der einem weißen Pixel entspricht. Die nächsten fünf Pixel bleiben weiß, zeigen also den minimalen Schwärzungsgrad an, wobei beim Übergang zum nächsten Musterelement in dieser Zeile wiederum ein Sprung auf den maximalen Schwärzungsgrad stattfindet. Da dieses Musterelement mit dem vorangehenden identisch ist, wiederholt sich der Kurvenverlauf. Beim Übergang zum nächsten Musterelement findet wiederum ein Sprung auf den maximalen Schwärzungsgrad statt, der dann allerdings auch konstant erhalten bleibt, bis der Übergang zum vierten Musterelement stattfindet, welches vollständig weiß ist. Innerhalb dessen Flächenbereich bleibt die Pixelzeile 8, die den Schwärzungsgrad anzeigt, auf dem minimalen Wert, wie es in der Zeile 10 dargestellt ist. Die Fortsetzung des Kurvenverlaufs ergibt sich analog zu der vorstehenden Beschreibung.

Der Kurvenverlauf gemäß der Zeile 10 würde sich im übrigen auch dann ergeben, wenn man jeweils fünf Pixel einer Spalte aus dieser Reihe von Musterelementen zusammenfassen würde und lediglich einen Schwellwert für den Schwärzungsgrad festlegen würde, oberhalb dessen die Kurve auf ihren Maximalwert springt und unterhalb dessen sie den Minimalwert annimmt.

Die darunterliegende Kurve 11 wird in etwas anderer Weise gewonnen. In diesem Fall werden jeweils die Schwärzungsgrade fünf übereinanderliegender Pixel in der Gruppe von Pixelreihen wiedergegeben, die im oberen Bildteil mit 9 gekennzeichnet sind und die eine Reihe von Musterelementen definieren. Ganz links befindet sich ein weißes Musterelement 4, so daß entsprechend in der Zeile 11 im Bereich dieses Musterelementes ein minimaler Schwärzungsgrad angezeigt wird. Dann findet ein Sprung auf ein vollständig schwarzes Musterelement statt, so daß anschließend im Bereich des zweiten Musterelementes durchgehend der maximale Schwärzungsgrad wiedergegeben wird. Dann erfolgt wiederum ein Sprung nach unten in eine weiße Pixelspalte ohne jeden Schwärzungsgrad, anschließend nimmt jedoch der Schwärzungsgrad von Pixelspalte zu Pixelspalte kontinuierlich zu, bis am Ende des dritten Musterelementes wieder der maximale Schwärzungsgrad erreicht ist. Dies wiederholt sich im vierten Musterelement, während das fünfte Musterelement wieder dem ersten entspricht. Das sechste Musterelement unterscheidet sich von dem dritten und vierten Musterelement nur durch das Vorzeichen der Änderung des Schwärzungsgrades, d. h. bei dem sechsten Element

nimmt der Schwärzungsgrad von einem maximalen Anfangswert von links nach rechts kontinuierlich ab auf den Minimalwert. Das siebte Musterelement dieser Musterelementreihe ist mit dem zweiten identisch, und das achte Musterelement entspricht wiederum dem dritten und vierten Musterelement dieser Reihe.

In der darunter wiedergegebenen Zeile 12 ist eine Auswertung dieser Struktur wiedergegeben, die man anschaulich auch als Ableitung der in der Zeile 11 wiedergegebenen Kurve beschreiben könnte. Konkret sind in der Zeile 12 jeweils die Differenzen der Schwärzungsgrade zweier aufeinanderfolgender Pixelspalten aus jeweils fünf übereinanderliegenden Pixeln in der Reihe 9 von Musterelementen wiedergegeben. Maximal sind diese Änderungen jeweils am Übergang von einem Musterelement zum nächsten Musterelement, wenn dies ein Übergang von einer rein schwarzen Pixelspalte zu einer rein weißen Pixelspalte ist oder umgekehrt. Den Wert Null haben diese Änderungen innerhalb der rein weißen oder rein schwarzen Musterelemente oder bei einem (hier nicht vorkommenden) Übergang von einem rein weißen oder rein schwarzen zu einem gleichartigen Musterelement (also von Musterlement 3 zu 3 oder von 4 zu 4), und einen vergleichsweise kleinen Wert haben diese Änderungen in dem Bereich, in welchem sich der Schwärzungsgrad der Musterelemente kontinuierlich von links nach rechts ändert.

Wie man in der Zeile 12 erkennt, ergibt sich beim Übergang von weiß nach schwarz ein Ausschlag der Kurve nach oben, während sich beim Übergang von schwarz nach weiß ein Ausschlag der Kurve nach unten ergibt. Die Musterelemente mit kontinuierlicher Änderung des Schwärzungsgrades, hier konkret in Form von Dreiecken, ermöglichen es, daß, wie man in der Zeile 12 erkennt, mehrere positive oder negative Peaks aufeinanderfolgen können, was die Herstellung eines kodierten Musters erleichtert.

In der Zeile 13 sind die positiven und negativen Peaks am Bereich der Musterelementübergänge lediglich durch aufwärts oder abwärts weisende Pfeile ersetzt, und in der Zeile 14 ist eine binäre Darstellung dieser Pfeilrichtungen oder Peakrichtungen in Form der Ziffern 1 und 0 wiedergegeben, wobei positive Peaks bzw. aufwärts weisende Pfeile durch eine Ziffer 1 repräsentiert werden, während negative Peaks oder abwärts gerichtete Pfeile durch eine Ziffer 0 repräsentiert werden. Damit läßt sich die erfaßte Struktur in Form von digitalen Zahlen, konkret in Binärzahlen, in einfacher Weise verarbeiten.

In Figur 3 erkennt man eine im Raum gekrümmte Fläche, auf welcher ein Muster aufprojiziert ist, wobei die Betrachtungsrichtung die Richtung senkrecht zur Papierbene ist, während die

Richtung der Projektion auf das Muster gegenüber der Betrachtungsrichtung um den Triangulationswinkel geneigt ist. Unter der Annahme, daß sämtliche erkennbaren Muster-elemente im Prinzip den gleichen Flächenbereich beanspruchen, ergibt sich aus der verzerrten größeren Form dieser Musterelemente, daß z. B. Bereiche, in welchen die Musterelemente in horizontaler Richtung langgestreckt erscheinen, relativ zur Projektionsrichtung stark geneigten, jedoch in Betrachtungsrichtung wenig geneigten Flächenbereichen entsprechen, während es sich dort, wo die Musterelemente scheinbar relativ eng beieinanderliegen bzw. in horizontaler Richtung verkürzt erscheinen, gerade umgekehrt ist. Unter Kenntnis des relativen Winkels zwischen Betrachtungsrichtung und Projektionsrichtung läßt sich die exakte Lage jedes Flächenbereiches im Raum ermitteln. Gleichzeitig wird jedoch aus der Figur 2 auch ein besonderes Problem deutlich, welchem sich herkömmliche Mustererkennungsverfahren bei den dargestellten Abbildungsverhältnissen gegenübersehen würden, welches jedoch durch das Verfahren der vorliegenden Erfindung ohne weiteres bewältigt wird. Bei der abgebildeten Oberfläche ist nämlich offenbar der Lichteinfall gerade so, daß im rechten Randbereich des erkennbaren Musters offenbar Reflexe auftreten, so daß das Muster in diesem Bereich wesentlich heller erscheint als im übrigen Bereich. Im unteren Teil der Figur 2 erkennt man eine Negativdarstellung des oberen Musters, so daß in diesem Fall der rechte Bereich des Musters wesentlich dunkler erscheint. Dies erschwert die Erkennung des Musters mit herkömmlichen Mustererkennungsverfahren ganz erheblich oder macht sie sogar unmöglich. Gemäß der vorliegenden Erfindung werden jedoch nur die Hell-Dunkel-Grenzen zwischen benachbarten Musterelementen als eindeutig lokalisierte Punkte erfaßt, und diese Hell-Dunkel-Übergänge finden sich nach wie vor auch in dem Bereich, der durch einen Reflex gestört wird und sind dort als solche immer noch deutlich erkennbar, so daß sie entsprechend der oben zu Figur 1 beschriebenen Auswertung z. B. eindeutig durch die Ziffern 0 und 1 gekennzeichnet werden könnten.

Figur 3 zeigt ein konkretes Anwendungsbeispiel in Form der Erfassung der räumlichen Strukturen eines menschlichen Gesichtes. Während links in Figur 3 das Modell eines menschlichen Gesichtes einmal unter ca. 30° zur Symmetrieebene des Gesichtes und einmal unter ca. 75° zur Symmetrieebene des Gesichtes als Foto wiedergegeben ist, sind rechts jeweils dieselben Ansichten mit einem auf das Gesicht projizierten Muster zu erkennen. Die Projektionsrichtung liegt dabei in der Symmetrieebene des Gesichtes und im wesentlichen horizontal. Unter Kenntnis des Triangulationswinkels, d. h. des Winkels zwischen der Symmetrieebene des Gesichts und der Betrachtungsrichtung, also der Normalen zur Bildebene, und weiterhin unter Kenntnis der realen Musterstruktur, die sich beim Projizieren auf eine zur Projektionsrichtung senkrechte Fläche ergeben würde, läßt sich anhand der Abstände der

- 16 -

einzelnen Hell-Dunkel-Übergänge in dem abgebildeten Projektionsmuster mit Hilfe entsprechender Auswertealgorithmen die räumliche Struktur der Gesichtsoberfläche erfassen und digital speichern. Dies wiederum kann verwendet werden für Zwecke der Personenerkennung oder aber für Zwecke der Medizin, wie z. B. bei der computergestützten, minimalinvasiven Chirurgie.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche durch Projizieren eines Musters auf die Oberfläche entlang einer Projektionsrichtung, die eine erste Achse definiert, und durch pixelweise Erfassung mindestens eines Bereiches des auf die Oberfläche projizierten Musters mit Hilfe eines oder mehrerer Sensoren in einer Betrachtungsrichtung des Sensors oder der Sensoren, welche eine zweite Achse definiert, wobei die erste und die zweite Achse (oder eine zur zweiten Achse parallele Gerade) sich unter einem von 0° verschiedenen Winkel schneiden, so daß die erste und die zweite Achse (bzw. die hierzu parallele Gerade) eine Triangulationsebene aufspannen, wobei das Muster mindestens bei Projektion in eine Ebene senkrecht zur ersten Achse durch eine sich ändernde, von dem Sensor (Sensoren) erfaßbare physikalische Größe definiert ist und wobei das Muster derart ausgestaltet ist, daß die Differenz der physikalisch meßbaren Größe, gemessen zwischen vorgebbaren Bildpixeln oder Pixelgruppen entlang einer vorgebbaren, vorzugsweise zur Triangulationsebene parallelen, Pixelreihe mindestens zwei verschiedene Werte annimmt, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auswertung der abgebildeten Musterstruktur jeweils nur Änderungen der physikalischen Größe zwischen den vorgegebenen Pixeln oder vorgegebenen Pixelgruppen einer oder mehrerer, vorzugsweise zur Triangulationsebene parallelen, Pixelreihen erfaßt und in räumliche Koordinaten der Oberfläche umgerechnet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der physikalisch meßbaren Größe jeweils zwischen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen entlang einer vorgegebenen Richtung ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster derart ausgerichtet ist, daß die entlang einer Richtung auftretenden Änderungen der physikalisch meßbaren Größe dem Betrag nach mindestens teilweise die zwischen beliebigen, gleich großen Pixeln oder Pixelgruppen in dem abgebildeten Muster maximal auftretende Differenz annehmen, wobei die übrigen auftretenden Änderungen entlang dieser Richtung vergleichsweise kleine Werte annehmen

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 -3, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils in einer Spalte übereinanderliegende Pixel mehrerer paralleler Pixelreihen zu einer Pixelgruppe zusammengefaßt und die Änderungen der physikalischen Größe jeweils zwischen derartigen benachbarten Pixelgruppen ausgewertet werden.
5. Verfahren nach Ansprüche 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster ein kodiertes Muster ist, bei welchem verschiedene Musterbereiche einer hinreichenden Größe voneinander unterscheidbar und in ihrer Position innerhalb des Gesamtmusters festgelegt sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster aus Musterelementen gebildet wird, die in einer Ebene senkrecht zur Projektionsrichtung jeweils etwa gleich große Flächen beanspruchen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Typen von Musterelementen vorgesehen sind, in deren Flächenbereich die meßbare physikalische Größe jeweils einen nahezu konstanten Wert hat, wobei sich der Wert dieser physikalischen Größe zwischen den beiden Typen von Musterelementen deutlich meßbar unterscheidet.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Typ eines Musterelementes vorgesehen ist, bei welchem sich mindestens innerhalb eines Teiles seines Flächenbereiches entlang einer vorgegebenen Richtung der Wert der physikalischen Größe im wesentlichen kontinuierlich verändert.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Typen von Musterelementen vorgesehen sind, die sich durch das Vorzeichen der Änderung der physikalischen Größe innerhalb ihres Flächenbereiches und entlang der vorgegebenen Richtung unterscheiden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die verschiedenen Typen von Musterelementen in einer kodierten Verteilung auf der Fläche des projizierten Musters angeordnet sind.

- 19 -

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die verschiedenen Typen von Musterelementen in einer Zufallsanordnung über die Projektionsfläche verteilt sind.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Flächenbereich eines Musterelementes in der Abbildungsebene einem Feld von $m \times n$ Pixeln entspricht mit $m, n \geq 2$ und $m < M$ und $n < N$, wobei $M \times N$ die Gesamtzahl der erfaßten Bildpixel ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß für die Musterkodierung und Identifizierung der Lage von Musterelementen nur Änderungen ausgewertet werden, welche größer sind als die Änderungen zwischen benachbarten Pixeln oder Pixelgruppen innerhalb der in den Ansprüchen 6 und 7 definierten Musterelemente.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erfassung der räumlichen Struktur der dreidimensionalen Oberfläche mindestens zwei Messungen mit relativ zueinander abgewinkelten Triangulationsebenen durchgeführt und miteinander kombiniert werden.

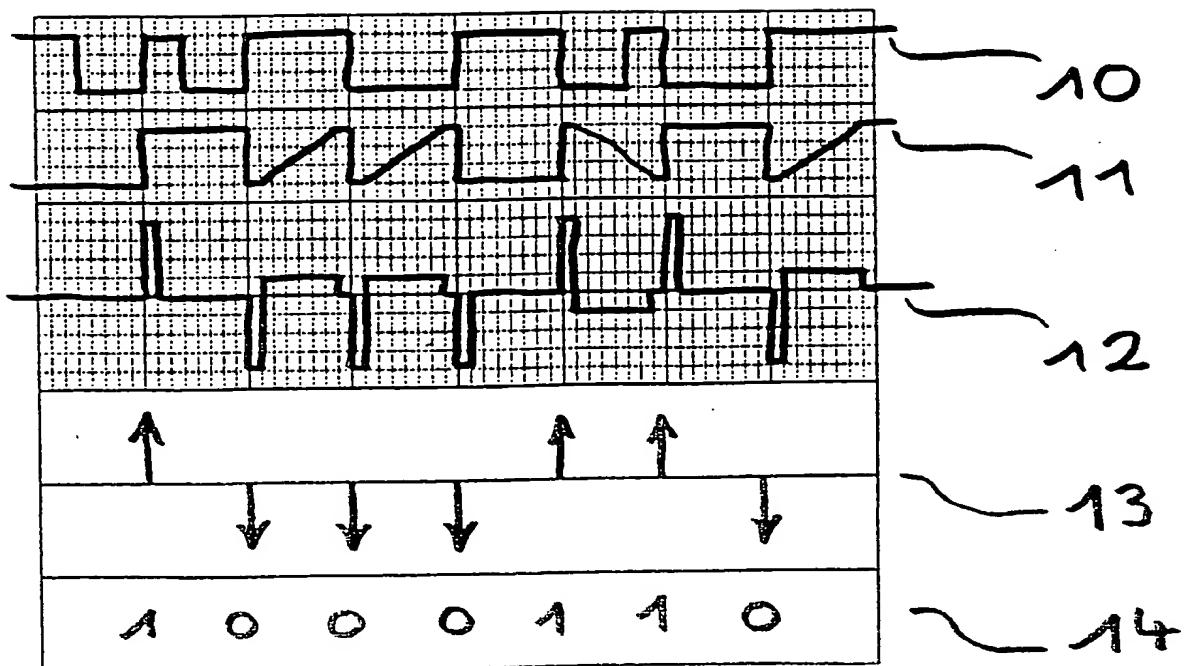
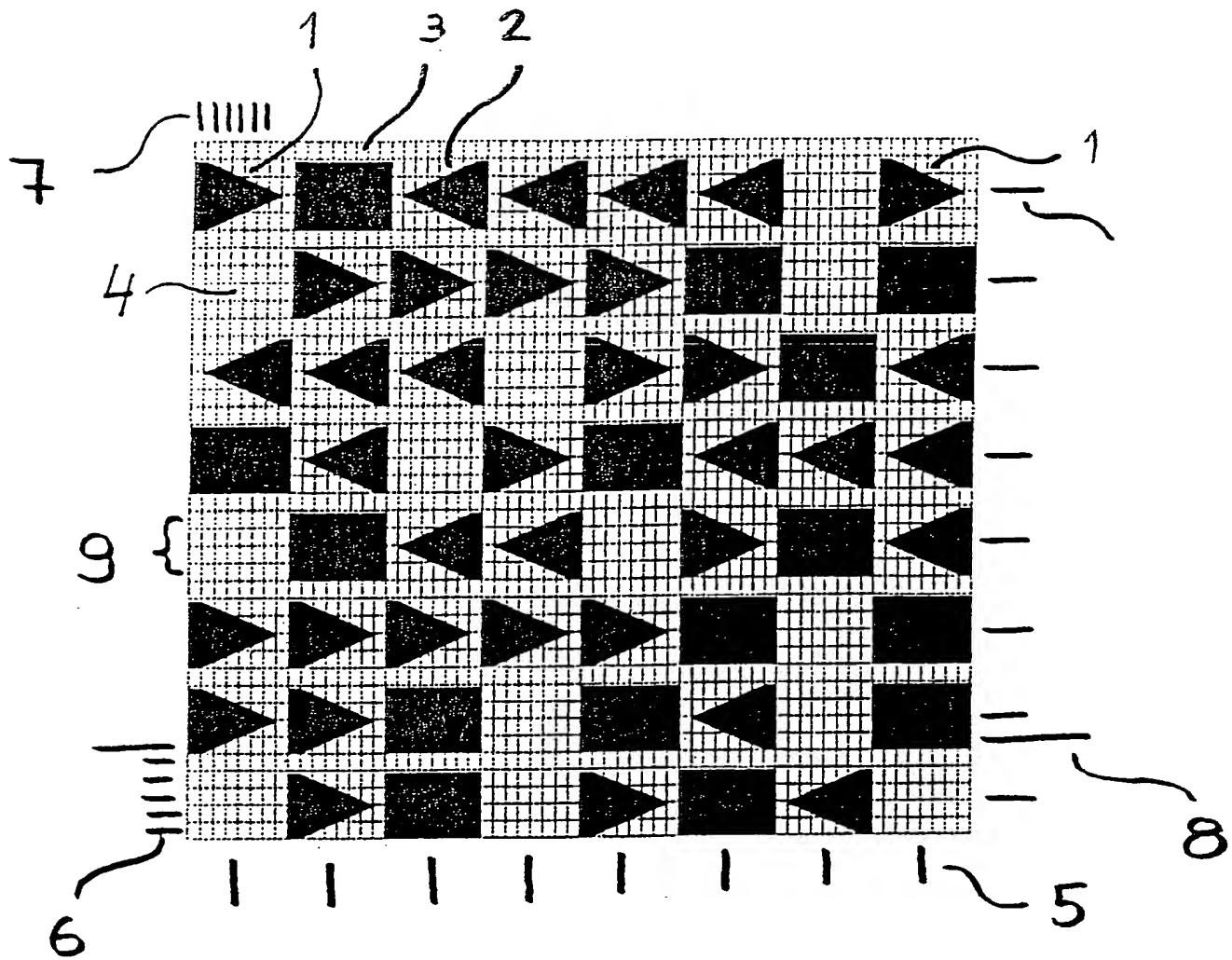


Fig. 1

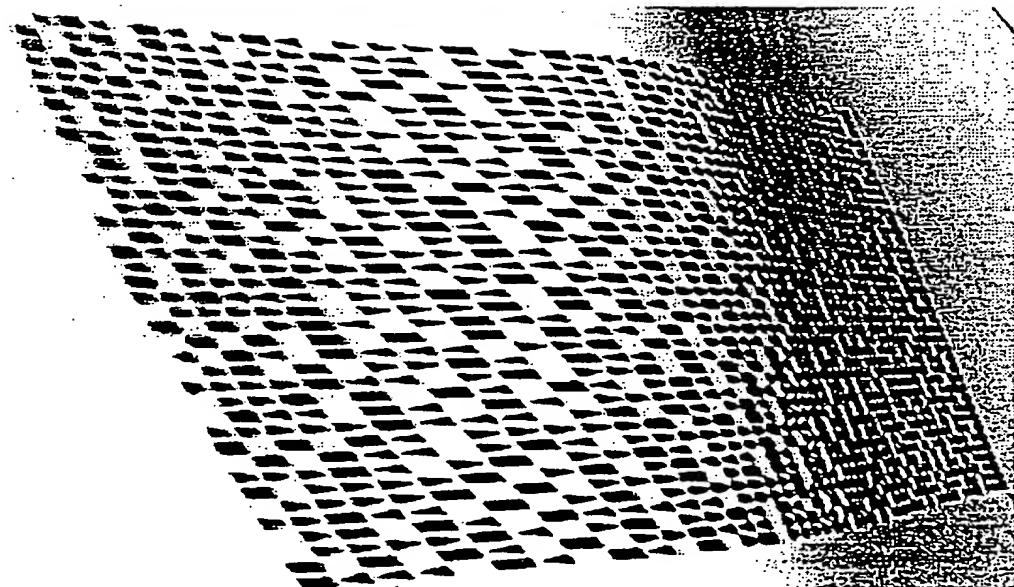
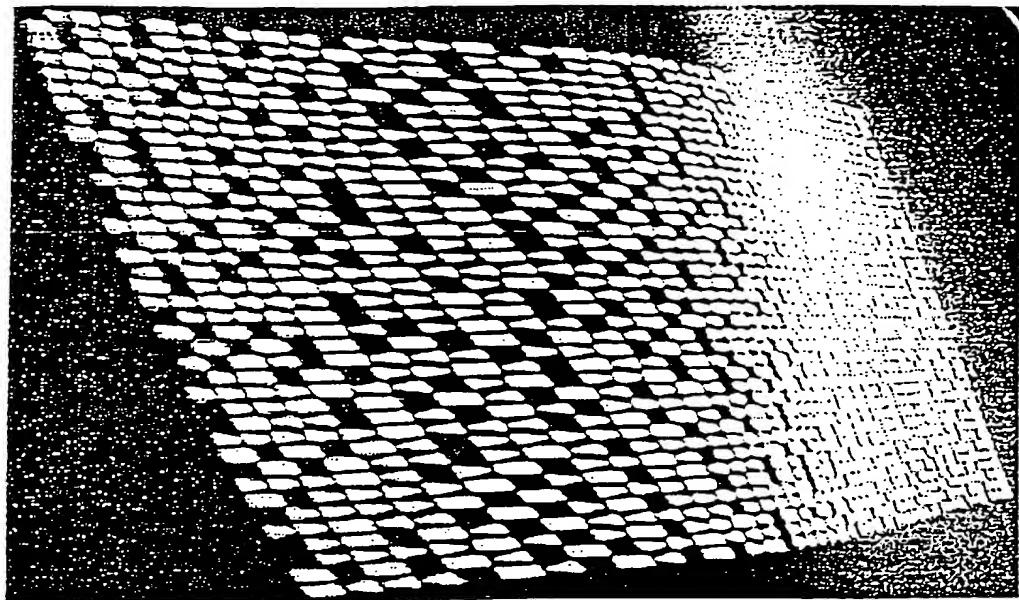
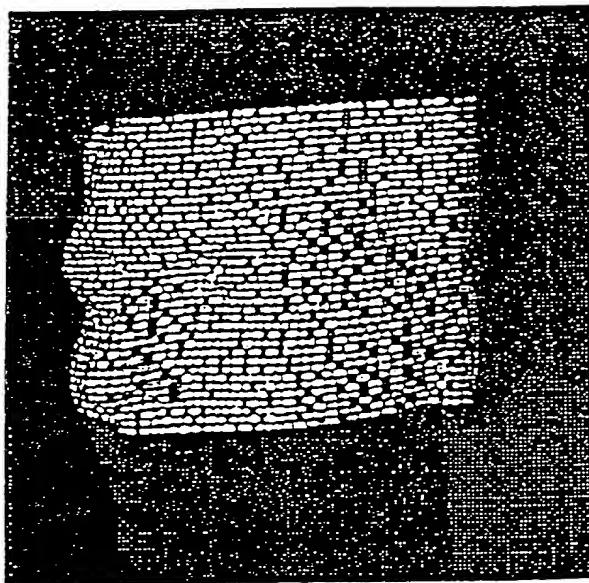
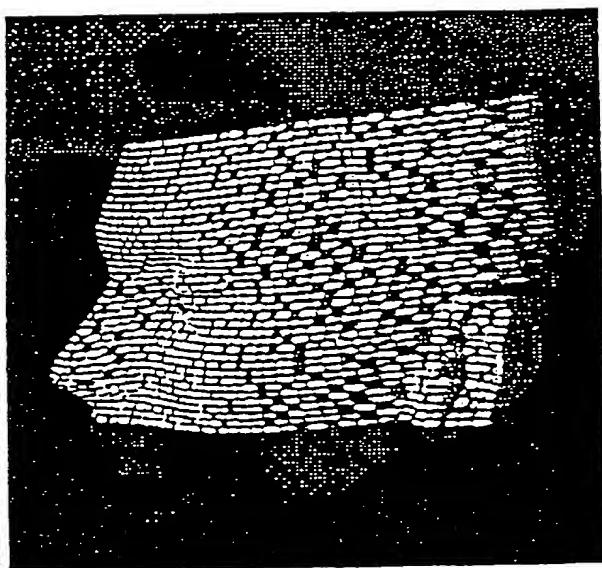


Fig. 2

Triangulationswinkel etwa 0°



Triangulationawinkel etwa 30°



Triangulationswinkel etwa 75°

Fig. 3

VERTRÄGE ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

Absender: MIT DER INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN PRÜFUNG BEAUFTRAGTE BEHÖRDE

An:

WEBER - SEIFFERT - LIEKE

Gustav-Freytag-Strasse 25

Postfach 61 45

D-65051 Wiesbaden

ALLEMAGNE

PCT

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERSENDUNG
DES INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN
PRÜFUNGSBERICHTS

(Regel 71.1 PCT)

Absendedatum
(Tag/Monat/Jahr) 02.03.2000

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts
syr9801.pct

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE99/01277

Internationales Anmelddatum (Tag/Monat/Jahr)
29/04/1999

Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)
14/05/1998

Anmelder

SYRINX MEDICAL TECHNOLOGIES GMBH et al.

WICHTIGE MITTEILUNG

- Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß ihm die mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde hiermit den zu der internationalen Anmeldung erstellten internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen, übermittelt.
- Eine Kopie des Berichts wird - gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen - dem Internationalen Büro zur Weiterleitung an alle ausgewählten Ämter übermittelt.
- Auf Wunsch eines ausgewählten Amtes wird das Internationale Büro eine Übersetzung des Berichts (jedoch nicht der Anlagen) ins Englische anfertigen und diesem Amt übermitteln.

4. ERINNERUNG

Zum Eintritt in die nationale Phase hat der Anmelder vor jedem ausgewählten Amt innerhalb von 30 Monaten ab dem Prioritätsdatum (oder in manchen Ämtern noch später) bestimmte Handlungen (Einreichung von Übersetzungen und Entrichtung nationaler Gebühren) vorzunehmen (Artikel 39 (1)) (siehe auch die durch das Internationale Büro im Formblatt PCT/IB/301 übermittelte Information).

Ist einem ausgewählten Amt eine Übersetzung der internationalen Anmeldung zu übermitteln, so muß diese Übersetzung auch Übersetzungen aller Anlagen zum internationalen vorläufigen Prüfungsbericht enthalten. Es ist Aufgabe des Anmelders, solche Übersetzungen anzufertigen und den betroffenen ausgewählten Ämtern direkt zuzuleiten.

Weitere Einzelheiten zu den maßgebenden Fristen und Erfordernissen der ausgewählten Ämter sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung beauftragten Behörde



Europäisches Patentamt

D-80296 München

Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d

Fax: +49 89 2399 - 4465

Bevollmächtigter Bediensteter

De Caevel, J-M

Tel. +49 89 2399-2557



**EITRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENFASSUNG
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts syr9801.pct	WEITERES VORGEHEN	siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 99/ 01277	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 29/04/1999	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 14/05/1998
Anmelder SYRINX MEDICAL TECHNOLOGIES GMBH et al.		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt **4** Blätter.

Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

a. Hinsichtlich der Sprache ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das

in der internationalen Anmeldung in Schriftlicher Form enthalten ist.

zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.

bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.

Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung

wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

ERFASSUNG DER RÄUMLICHEN STRUKTUR EINER DREIDIMENSIONALEN OBERFLÄCHE

5. Hinsichtlich der Zusammenfassung

wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 1

wie vom Anmelder vorgeschlagen

weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.

weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

keine der Abb.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationa' ktenzeichen
PCT/DE 99/01277

Feld III

WORTLAUT DER ZUSAMMENFASSUNG (Fortsetzung von Punkt 5 auf Blatt 1)

Die Zusammenfassung ist wie folgt zu ändern:

Zeile 10:

Der mit den Worten "und wobei..." beginnende und den
Worten "...umgerechnet werden." endende Teil ist zu streichen.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Anmeldezeichen

PCT/DE 99, 1277

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 6 G01B11/24 A61B5/107 G06T9/20 G06T7/60

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01B A61B G06T G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 867 570 A (SORIMACHI KANEHIRO ET AL) 19. September 1989 (1989-09-19) Spalte 4, Zeile 29 -Spalte 6, Zeile 30; Abbildungen 2,3 ---	1
A	US 4 825 263 A (DESJARDINS PAUL J ET AL) 25. April 1989 (1989-04-25) Spalte 6, Zeile 12 -Spalte 6, Zeile 68; Abbildung 4B ---	1
A	DE 44 36 500 A (ZEISS CARL JENA GMBH) 11. Mai 1995 (1995-05-11) das ganze Dokument ---	1 -/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

^a Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"G" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Rechercheberichts

24. September 1999

04/10/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk.
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Arca, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales A' -zeichen
PCT/DE 99, 1277

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ²	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	YEE S R ET AL: "THREE-DIMENSIONAL IMAGING SYSTEM" OPTICAL ENGINEERING, Bd. 33, Nr. 6, 1. Juni 1994 (1994-06-01), Seiten 2070-2075, XP000454696 ISSN: 0091-3286 ---	1
A	EP 0 294 577 A (LBP PARTNERSHIP) 14. Dezember 1988 (1988-12-14) ---	1
A	DE 196 38 727 A (RUBBERT RUEDGER DIPL ING) 19. März 1998 (1998-03-19) in der Anmeldung erwähnt -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 99, 1277

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4867570 A	19-09-1989	JP 2504944 B JP 62186380 A JP 62291510 A JP 2052701 C JP 7089058 B JP 62291511 A JP 1918487 C JP 6043893 B JP 62291512 A JP 2113623 C JP 8033915 B JP 62135980 A DE 3642051 A FR 2591329 A	05-06-1996 14-08-1987 18-12-1987 10-05-1996 27-09-1995 18-12-1987 07-04-1995 08-06-1994 18-12-1987 06-12-1996 29-03-1996 18-06-1987 11-06-1987 12-06-1987
US 4825263 A	25-04-1989	KEINE	
DE 4436500 A	11-05-1995	KEINE	
EP 0294577 A	14-12-1988	US 4846577 A AT 93052 T CA 1323698 A DE 3883084 A JP 2547187 B JP 63284683 A	11-07-1989 15-08-1993 26-10-1993 16-09-1993 23-10-1996 21-11-1988
DE 19638727 A	19-03-1998	AU 4111597 A WO 9811404 A EP 0935737 A	02-04-1998 19-03-1998 18-08-1999

identification of given regions of the bar pattern so that the first distorted pattern can be adapted to the projected pattern, wherein the parameters of such adaptation afford the structure of the surface which produces the above-mentioned distortion effects.

5 Another similar process which uses an encoded pattern is known from German patent application No 196 38 727, in which respect that process is not limited to encoding of a pattern only in one direction but is composed of individual distinguishable pattern elements each of similar respective structure and size, wherein the pattern elements also differ
10 alternately from each other in mutually perpendicular directions. An encoded pattern is characterised in that at least portions of the pattern which are of a given minimum size are not repeated at any point in the entire pattern surface. Even if that requirement is not satisfied in the strict sense, this means that repetitions of pattern structures can certainly also
15 occur as long as those repetitions are only sufficiently far apart on the pattern surface that, upon evaluation of an imaged pattern structure, there is practically no possibility of confusion between two randomly identical regions of the pattern.

All previously known processes however basically operate on the
20 principle of pattern recognition, that is to say imaging, implemented by calculation, of the flat pattern on to the distorted pattern of which the image is formed from the viewing direction on a non-flat surface. Problems always occur in that respect however when the information content of the projected pattern element can vary in the imaging procedure, depending on
25 the spatial extent or other configuration of the surface. If for example the physical parameter which is to be measured and which varies and by which the pattern structure is defined includes the color of the pattern or of individual pattern elements, then interpretation of color information in the projected pattern can be interfered with or even made impossible, by virtue
30 of the surface being colored in nature. When using different line widths for a pattern the line width in the image depends not only on inclinations of the surface in a direction parallel to the triangulation plane but also inclinations of the object or the surface with respect to a line normal to the

Process for detecting the spatial structure of a
three-dimensional surface

5

The present invention concerns a process for detecting the spatial structure of a three-dimensional surface by projection of a pattern on to the surface along a projection direction which defines a first axis, and by pixel-wise detection of at least one region of the pattern projected on to the surface, by means of one or more sensors in a viewing direction of the sensor or sensors, which defines a second axis, wherein the first and the second axes (or a straight line parallel to the second axis) intersect at an angle different from 0° so that the first and the second axes (or the straight line parallel thereto) define a triangulation plane, wherein the pattern is defined at least upon projection into a plane perpendicularly to the first axis by a varying physical parameter which can be detected by the sensor (sensors), and wherein the pattern is such that the difference in the physically measurable parameter, measured between predetermined image pixels or pixel groups, along a predetermined pixel row which is preferably parallel to the triangulation plane, assumes at least two different values.

Such a process is known for example from US patent No 5 615 003.

The pattern which is specifically disclosed in that patent specification has a very high degree of similarity to bar codes as have already long been in use for example in the retail trade for identifying products and prices, wherein the sequence of lines or bars of different thicknesses defines a series of binary numbers which is clearly associated for example with a product and its price. For the purposes of detecting the spatial structure of a three-dimensional surface however the bar widths and the spacings between bars of that kind are distorted according to the respective specific structure of the surface involved and the known process is distinguished by devices and measures which, in spite of the distortion effect, permit

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADE MARK OFFICE

VERIFICATION OF TRANSLATION

I, Michael Wallace Richard Turner, Bachelor of Arts, Chartered Patent Attorney, European Patent Attorney, of 1 Horsefair Mews, Romsey, Hampshire SO51 8JG, England, do hereby declare that I am conversant with the English and German languages and that I am a competent translator thereof;

I verify that the attached English translation is a true and correct translation made by me of the attached documents in the German language of International Application PCT/DE99/01277;

I further declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment or both under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

Date: August 15, 2002

M W R Turner

M W R Turner

triangulation plane. This means that, upon the projection of lines of different width, by virtue of the spatial extent of the surface being of a disadvantageous configuration, for example a narrow line in the image is represented in a width which is of the order of magnitude of the image of a line which is wide in the projected pattern, and accordingly can result in an incorrect item of information in the evaluation procedure.

In addition the evaluation of encoded patterns involving a differing geometrical configuration of pattern elements imposes very high demands on the evaluating data processing procedure as the geometry of the projected pattern elements can recur in severely deformed condition in the image.

In comparison with the above-depicted state of the art, the object of the present invention is to provide a process for detecting the spatial structure of a three-dimensional surface, which is substantially independent of different inclinations with respect to a line normal to the triangulation plane and also independent of the other surface properties which independently of the spatial extent of the surface can influence the physical parameter to be measured.

That object is attained in that, for the purposes of evaluation of the imaged pattern structure only changes in the physical parameter between the predetermined pixels or predetermined pixel groups of one or more pixel rows which are preferably parallel to the triangulation plane are detected and converted into spatial co-ordinates of the surface.

In that respect the changes in the physical parameter are detected at least in the component thereof parallel to the triangulation plane and converted into spatial co-ordinates.

The fact that only changes in the physical measurement parameter of the pattern, which is to be detected, are detected, preferably between adjacent pixels or adjacent pixel groups, means that specific surface properties are so-to-speak eliminated as the surface regions which are imaged or reproduced in particular by adjacent pixels generally have the same properties. The inclination of the surface with respect to a line normal to the triangulation plane also has no effect on detection and possibly

identification of the pattern structure as it is not the pattern that is detected in respect of its specific dimensions and shapes and compared to the original projection pattern and adapted thereto, but only the values of the physical parameter which is of interest, being measured in
5 predetermined preferably adjacent pixels or pixel groups, are compared to each other, more specifically by forming the difference thereof. In that case the specifically imaged pattern is then produced simply on the basis of characteristic changes in the physical parameter from given pixels to other predetermined pixels, in particular their adjacent pixels, or from given pixel
10 groups to other predetermined and preferably adjacent pixel groups, or along another suitable sequence of pixels which are to be compared together.

As in accordance with the invention the change in the values, which are detected or reproduced in the image pixels, of the specifically evaluated
15 physical parameter, can assume at least two different values, those differing values in respect of the change, which can occur from one pixel to another or from one pixel group to another, make it possible to define and recognise structures without the specific properties of the surface playing a part in that respect.

Desirably the pattern is so oriented that, in a predetermined measurement direction along which pixels or pixel groups are compared to each other, there are change values which are at a maximum in respect of amount at least in part while the other change values which occur are comparatively small in respect of amount or are of the value zero.
20

In a preferred variant of the present invention a respective plurality
25 of pixels, which are disposed in mutually superposed relationship in a column, of pixel rows which are adjacent in the column direction, are assembled to form a pixel group, and the changes in the physical parameter are evaluated between respective ones of such pixel groups
30 which are adjacent in the line direction. It would however also be possible to compare groups of adjacent pixels which each comprise a plurality of pixels disposed in juxtaposed relationship in the line direction. In a variant of that configuration, the pixels which are assembled to form a respective

group, from a plurality of lines, can also be displaced relative to each other, that is to say they can originate from different columns which however are preferably in close proximity with each other.

It will be appreciated moreover that the 'lines' and 'columns' of pixels
5 of an image sensor or image, as those terms are used in the context of the present application, do not necessarily have to extend along straight lines which intersect in mutually perpendicular relationship.

A particularly preferred embodiment of the invention is one in which the pattern is in the form of an encoded pattern, in which respect that
10 requirement is not to be interpreted in a strict sense.

Desirably the pattern structures are relatively small in comparison with the overall extent of the pattern and also the minimum size of the surface regions which have a pattern structure which is not repeated should be as small as possible in comparison with the overall surface area of the
15 pattern as in that way the respective clearly identifiable pattern structures can be suitably accurately located. Pattern repetitions however may also occur at a sufficiently large spacing in many situations of use.

A further preferred embodiment of the invention is one in which the pattern is formed by individual pattern elements which each occupy
20 approximately equal areas in a plane perpendicular to the projection direction. The equal-size surface regions of individual elements facilitate the evaluation procedure if for example transitions from one pattern element to another are particularly pronounced and are thus clearly detected or if given regions of individual pattern elements have substantial changes in
25 the physical parameter to be measured, in the line direction of the image pixels, and thus serve as a pattern recognition point which can be well located.

In that respect a particularly preferred embodiment of the present invention is one in which there are at least two types of pattern elements,
30 in the region of which the physical parameter is respectively of a constant level or a constant value, wherein that value of the physical parameter in question respectively clearly measurably differs between the two types of pattern elements. In that way it is very easily possible to establish the

transitions from a pattern element of the first type to a pattern element of the second type and vice-versa. The differences which are formed between adjacent pixels or pixel groups assume the value zero, in regard to pattern elements of that kind, if the pixels or pixel groups which are to be

5 compared are within the same pattern element and assume the clearly measurable distinguishing value as between the two types of pattern elements when the one pixel or the one pixel group forms the image of one of the two pattern elements while the adjacent pixel or the adjacent pixel group does so for the respective other pattern element. In that way,

10 respective clearly measurable changes occur at the transitions from one pattern element to another and in that respect also measurement points for identification of the pattern structure and the position of such transitions. That applies even if the surface properties of the article being investigated change considerably in the projected pattern region so that the same

15 transitions between identical pattern elements but at different locations on the surface show clearly different differences and are nonetheless recognised as similar transitions because the difference in both cases always still clearly differs from other difference values which occur (for example the difference value zero).

20 In addition a preferred embodiment of the present invention is one in which there is provided at least one type and at least one further type respectively of a pattern element, in the surface region of which the value of the physical parameter to be detected continuously changes in a predetermined direction. With a pattern element of that kind, the changes

25 in the physical parameter between adjacent pixels or pixel groups are generally relatively small, while by virtue of the continuous change in the physical parameter in the region or in a sub-region of that pattern element those change values are respectively equal between all adjacent pixels or pixel groups. It is only in the event of a transition to another pattern

30 element or if a region of the pattern element is reached in which the physical parameter no longer changes continuously in accordance with the previously defined rule that a greater difference in respect of the physical

parameter can occur between adjacent pixels or pixel groups, which difference is in turn characteristic of a given region of the pattern.

In that respect a particularly preferred embodiment of the present invention is one in which there are provided two types of such pattern elements with a continuous change in the physical parameter within at least a sub-region of those pattern elements, wherein those two types differ from each other in that, in the predetermined direction, with respect to the progressive comparisons of adjacent pixels or pixel groups, the sign of the change in the physical measurement parameter is precisely reversed.

5 In the surface region in question of the pattern element of a first type therefore the value of the physical parameter which is of interest increases for example from one pixel to another by the same value in each case, while, in regard to the other type of pattern element, that value decreases from one pixel to another by a corresponding amount in each case.

10 In the surface region in question of the pattern element of a first type therefore the value of the physical parameter which is of interest increases for example from one pixel to another by the same value in each case, while, in regard to the other type of pattern element, that value decreases from one pixel to another by a corresponding amount in each case.

15 It will be appreciated that, in the transition to an adjacent pattern element, considerably greater differences can occur in the values of the physical parameter between adjacent pixels or pixel groups.

The pattern elements with a change in the physical parameter, which is more or less continuous at least in a region-wise manner, make it

20 possible, in regard to the transition to adjacent pixels or pixel groups, to obtain at the transition to a further pattern element a clear jump in the physical parameter in the same direction in each case; while in regard to the previously defined types of pattern elements within whose surface region the physical measurement parameter is of a constant respective

25 value, the sign of the change in regard to the transition to the next pattern element, if there is any change at all, is clearly established by the value of the physical parameter in the preceding pattern element.

In that respect, the change may admittedly assume two different values which respectively differ from each other by their sign, depending on

30 from which of the two types of pattern elements the transition to the respective other type occurred, but after a previously implemented positive change in the value of the physical measurement parameter, in regard to pattern elements of that kind, at the transition to the next pattern element

there can be only a negative or no change, and vice-versa. In contrast, with the types of pattern elements which have a change which is continuous in a region-wise manner but which is relatively small between respectively adjacent pixels within those ranges and which therefore can be
5 ignored, the value of the physical parameter is continuously repeatedly restored to a value which has already been achieved previously and which then, at the transition to the next pattern element or also within the given pattern element, is abruptly changed, in which respect that abrupt change is detected as a characteristic structure element of the pattern and involves
10 a given direction or a given sign, wherein changes involving the same sign or for example opposite signs can then readily follow, depending on which respective type of pattern element is the next following and the next but one.

It will be appreciated that, in regard to various types of pattern
15 elements of that kind, it is desirable if those types are arranged in an encoded distribution on the surface of the projected pattern, in which respect the notion of encoded distribution has already been discussed above. A preferred example of encoded distribution is simply random distribution of the various types of pattern elements on the entire
20 projection surface. It is particularly preferred in that respect if all the above-defined types of pattern elements, that is to say both those within whose surface region the physical parameter is of a respective constant level and also those which involve a surface region within which the physical parameter respectively continuously changes, are used for the
25 production of such a pattern.

Desirably the surface region of a pattern element in the imaging plane should correspond at a maximum to a number of $m \times n$ pixels, wherein m and n are each greater than 2, but at the same time m is markedly smaller than M and n is markedly smaller than N , when $M \times N$ is
30 the total number of the detected or imaged image pixels.

In that respect it is further desirable if, for pattern encoding and identification of pattern elements or characteristic regions of the pattern, the procedure only involves evaluating changes which are greater than the

changes between adjacent pixel groups within those types of pattern elements which at least in part have a continuous change in the physical parameter. It has already been mentioned hereinbefore that the small changes in the physical parameter, which occur along that region between adjacent pixels or pixel groups, in comparison with the relatively great changes which can occur between adjacent pattern elements, can be ignored.

Furthermore a preferred embodiment of the invention is one in which two measurement procedures are implemented with triangulation planes which are angled relative to each other, wherein in the two measurement procedures the triangulation planes are preferably angled relative to each other through about 90°.

Evaluation of the image data is substantially facilitated if, upon projection of the pattern on to a reference plane, imaging of the lines of the pattern on the image converter is effected substantially parallel to the lines of the image converter. The term reference plane is used herein to denote that plane which is formed in the following manner: (i) an auxiliary straight line is defined, which extends parallel to the optical axis of the projection unit and which intersects the optical axis of the receiving or recording unit, wherein the plane defined by that straight line and the optical axis of the recording unit, in accordance with the invention, is identified as the 'triangulation plane'; (ii) the bisector of the optical axis of the recording unit and the auxiliary straight line is established as a normal vector of the reference plane (the reference plane is thus perpendicular to the triangulation plane); (iii) the reference plane is so disposed that the spacing between the points at which the two optical axes pass through the reference plane is at a minimum. That definition takes account of the fact that the two optical axes, in a real apparatus, will not exactly intersect, even if that is structurally intended. If now the lines of the pattern extend parallel to the triangulation plane, the image of those lines on the image converter will extend parallel to the lines of the image converter. Upon projection of that pattern on to a surface which does not correspond to the

reference plane, the deviation from parallelism will only be small of second order.

It is also advantageous if the pattern is such and projection of that pattern is effected in such a way that, upon projection of the pattern on to a flat surface which is perpendicular to the triangulation plane, with a unitary surface configuration, the result is a structure which is organised in lines, those lines are parallel to the triangulation plane and the characteristic above-specified measurements of the change occur along those lines.

It is further desirable if (i) the pattern is projected using a beam source and suitable optical means on to the object to be measured; (ii) the pattern to be projected is of a flat or areal configuration, with substantially mutually perpendicular lines and columns involving a respectively uniform pitch division and arranged in the resulting pitch division are different geometrical elements which are optically transparent, non-transparent or partially transparent; (iii) the transparency of the partially transparent elements both increases in the line direction steadily from non-transparent to transparent or steadily decreases from transparent to non-transparent; (iv) the geometrical elements are arranged in the pattern to be projected, in such a way that in the pitch division of the columns, as between the geometrical elements, there is a change from transparent to non-transparent or from non-transparent to transparent, in such a way that the different sign, which is distributed over the pattern, of the size of the change in the pitch division grid or raster of the columns, on the basis of image recording of the projected pattern of interrelated surface segments of the object, which are delimited in any desired fashion, of sufficient size, makes it possible to determine a clear association with the respective projected part of the pattern; (v) the radiation reflected by the object, at least in parts, is projected by suitable optical means on to a flat CCD image converter whose radiation-sensitive elements are also organised in lines and columns, and is converted thereby into an electrical signal and contained in that electrical signal is the information content of the components, reflected by the object, of the projected pattern, at least in

parts thereof; (vi) the directions of the optical axes for projection of the pattern and for formation of the image of the object on the image converter are different from each other; (vii) the lines of the pattern to be projected are oriented parallel to the plane which is formed by the optical axes for 5 projection and for imaging of the reflected radiation on to the image converter; (viii) the electrical signals of the image converter are converted into discrete data and passed to a unit for processing and storage of data; (ix) the data of the radiation-sensitive elements of the image converter are evaluated in lines which are parallel to the triangulation plane, in regard to 10 the size of the change in the intensity of radiation; (x) the resulting flanks upon substantially sharp changes, in accordance with the respective sign of the size of the change, are associated with the binary information elements zero and one; and (xi) the resulting binary sequences serve to distinguish parts of the pattern from other parts of the pattern.

15 If for example a pattern (i) comprises checkered black and white elements, (ii) the pattern is projected using visible light and suitable optical means on to a white object of any three-dimensional extent, (iii) an image is produced from the object using suitable optical means on a flat image converter, (iv) the projection direction is different from the receiving or 20 recording direction, (v) the signal of the image converter is digitised, put into intermediate store in an electronic memory or storage device and fed to a data processing unit, (vi) the image converter is organised in mutually perpendicular lines and columns, (vii) the pattern is positioned in the projection device in such a way that the lines of the checkered pattern 25 extend in the direction of the lines of the image converter, (viii) both the projection device and also the receiving or recording device are of such a configuration and position that the triangulation angle extends to a recording of the image of the checkered pattern in the column direction of the image converter (in other words: the plane defined by the triangulation 30 angle extends in the direction of the columns of the projected pattern and also the image converter), (ix) the configuration of the pattern elements is greater than the resolution of the image converter, then values can be found in the image store, which represent the line information of the image

converter and which correspond to the brightness values of the white and black elements of the checkered pattern. If (x) those items of information are evaluated along the corresponding line of the image converter, the result is sudden changes in the items of brightness information

5 corresponding to the grid or raster of the projected pattern. The deviations in the dimensional relationships of the sudden changes in brightness along an image line with respect to the corresponding projected pattern represent the spatial extent of the object, with the beam path being known. If (xi) the object in the region being viewed is sufficiently steady and is optically

10 accessible both from the projection direction and also from the receiving or recording direction, then the sequence of line information alternately involves sudden changes in brightness from light to dark and from dark to light. If (xii) the items of brightness information are represented by the digitisation procedure as digital values with an association proportional to

15 the brightness values and if (xiii) the change in brightness along the designated column of the image converter is calculated from the difference between the respective brightness value at a given location and the brightness information of the image location which follows in the direction of the line, that alternately gives positive and negative values which

20 correspond to the size of the change in brightness. If that discrete sequence of values is interpreted as a brightness signal, it is then possible to refer to positive or negative flanks or edges of that signal.

In the preferred embodiment of the invention the image data which represent the projected pattern with the stated statistical distribution of the

25 pattern elements and thus the corresponding encoding are checked in respect of the individual pattern elements to ascertain whether the information content of the individual element can be unambiguously recognised on the basis of the recording. If that unambiguity is not guaranteed then the corresponding pattern element is to be excluded from

30 further data processing. The pattern elements which are to be unambiguously recognised, by signal edge recognition and evaluation, form the basis thereafter for generation of the information elements, and adjacent unambiguously recognised information elements are attributed to

so-called clusters. A cluster in the sense of the present invention is a group of adjacent information elements. The comparison of the decoded items of information of the recorded pattern which is projected on to the object, with the pattern content to be projected, makes it possible to check the 5 plausibility of the arrangement of the decoded items of information. If deviations occur in that situation, the deviating information element is falsified and separated out. If the corresponding information element is at the edge of the cluster, a suitably corrected delimitation is produced. If the information element is in the middle of a cluster, then under some 10 circumstances the cluster is to be divided and the unambiguous association of the two resulting cluster portions is to be re-checked. If the smaller clusters cannot be unambiguously associated, then all corresponding elements are to be falsified and separated out. Accordingly, represented in the clusters are interrelated surface segments whose pattern elements of 15 the projected pattern, by virtue of the information content available in the cluster in respect of the mutually adjoining pattern elements, can be unambiguously associated with the corresponding pattern element in the pattern to be projected. On the basis of the position for example of the center of gravity or the resulting edges or flanks in the image, in 20 comparison with the arrangement in the pattern to be projected, it is possible by means of triangulation to calculate three-dimensional co-ordinates as support points of the surface of the object. In accordance with the invention three respective adjacent support points which are not disposed in a row can advantageously be defined as a triangle and thus 25 also as a triangular surface so that there is no need for surface retrieval from a cloud of points, as is required in the case of other processes. As a result of that analysis and calculation of the items of image information from an individual image digital images of interrelated surface segments of the object, which are unambiguously determined in respect of their 30 configuration, are available. These segments which are possibly not interrelated are however known in terms of their three-dimensional position and orientation relative to each other.

Further advantages, features and possible uses of the present invention will be apparent from the following description of a preferred embodiment and the accompanying drawings in which:

Figure 1 shows a section from an encoded pattern and in the lower 5 part aspects of an evaluation strategy,

Figure 2 shows two images of a curved surface with a pattern projected thereon, and

Figure 3 shows images of a human head with and without a pattern projected thereon, from different viewing directions.

10 Figure 1 shows in the upper region thereof a section from an encoded pattern, more specifically in a plane perpendicular to the axis of projection, and in the lower region the structures which are afforded by the evaluation process in accordance with the present invention.

15 The pattern illustrated in Figure 1 shows a square field or array of 8 x 8 pattern elements with a total of four different pattern element types. At the same time, laid over the imaged pattern there is also a grid network of image pixels, on to which a corresponding pattern can be projected for imaging purposes. As will be seen, each pattern element occupies a surface region of 8 x 5 image pixels. The four different pattern element types are 20 all recognisable within the top left region of 3 x 2 pattern elements. In this case, by way of example, the degree of blackening of a pixels or the degree of blackening of a group each comprising five mutually superposed pixels can be used as a physically measurable parameter for identification of the pattern structures. It will be appreciated that conversely it would also be 25 possible to use a negative of that pattern, in which black surfaces would be substituted for white surfaces.

In the case of the pattern element at topmost right in Figure 1, the left-hand edge has the maximum degree of blackening of that pattern which occurs, while then the degree of blackening continuously decreases 30 from left to right and could be specifically detected as the sum of the degrees of blackening of all five pixels elements in a column one above the other, which fall into the surface region of that pattern element. The eighth group of five pixels of that pattern element, which are arranged in mutually

superposed relationship in a column, no longer has any degree of blackening and is completely white. Beside it to the right there follows a further pattern element 3 which has the maximum degree of blackening over its entire surface. That pattern element 3 is here specifically identified
5 by reference numeral 1.

The next following pattern element 2 is substantially similar to the pattern element 1, with the single difference that the degree of blackening of the eight pixel groups of that pattern element, which are arranged in column-wise manner, continuously increases from left to right, while it
10 continuously decreased in the case of the pattern element 1.

Under the pattern element 1 it is possible to see a pattern element 4 which differs from the pattern element 2 in that it has no degree of blackening at all over its entire surface area. In particular the transitions between adjacent pattern elements which can form a transition from white
15 to black or from black to white are characteristic in respect of this pattern, in which respect the pattern elements 1 and 3 also make it possible for identical transitions from black to white or from white to black respectively to be repeated a plurality of times, at successive pattern elements.

This will now be described in greater detail with reference to the
20 lower region in Figure 1. Attention is directed for example in the upper part of Figure 1 to the row of pixels identified by reference numeral 8 in the seventh row (counted from the top) of pattern elements of the pattern. When progressing along that line of pixels 8 from left to right and recording in a vertical direction the respective degree of blackening of the detected pixels, then the variation in the degree of blackening shown in line 10 of the lower part of the Figure is the result. Firstly, in line 8 of pixels the degree of blackening is at a maximum value, then at the transition from the third to the fourth pixel of that row it abruptly changes to a minimum value which corresponds to a white pixel. The next five pixels remain white
25 and therefore exhibit the minimum degree of blackening, while at the transition to the next pattern element in that line there is once again a sudden change to the maximum degree of blackening. As that pattern element is identical to the preceding one, the curve configuration is
30

repeated. At the transition to the next pattern element there is once again a sudden change to the maximum degree of blackening which then however also remains constant until the transition to the fourth pattern element which is completely white occurs. Within the surface region thereof
5 the pixel line 8 which exhibits the degree of blackening remains at the minimum value, as shown in line 10. The continuation of the curve configuration is similar to the foregoing description.

The curve configuration in accordance with line 10 would moreover also occur if five pixels of a column from that row of pattern elements were
10 combined together in each case and if only one threshold value were established for the degree of blackening, above which the curve jumps to its maximum value and below which it assumes the minimum value.

The subjacent curve 11 is obtained in a rather different manner. This respectively reproduces the degrees of blackening of five mutually
15 superposed pixels in the group of pixel rows which are identified in the upper part of the Figure by reference 9 and which define a row of pattern elements. Entirely to the left is a white pattern element 4 so that a minimum degree of blackening is correspondingly indicated in line 11 in the region of that pattern element. Then there is a jump to a completely black
20 pattern element so that then the maximum degree of blackening is reproduced throughout in the region of the second pattern element. There is then once again a sudden change downwardly into a white pixel column without any degree of blackening, but then the degree of blackening continuously increases from one pixel column to another until the
25 maximum degree of blackening is reached again at the end of the third pattern element. That is repeated in the fourth pattern element while the fifth pattern element again corresponds to the first. The sixth pattern element differs from the third and fourth pattern elements only by the sign of the change in the degree of blackening, that is to say in the case of the
30 sixth element the degree of blackening continuously decreases from a maximum initial value from left to right to the minimum value. The seventh pattern element of that row of pattern elements is identical to the second

one and the eighth pattern element again corresponds to the third and fourth pattern elements of that row.

Line 12 which is shown therebeneath sets out an evaluation of that structure which could clearly also be described as a derivative of the curve shown in Figure 11. More specifically line 12 shows the respective differences in the degrees of blackening of two successive pixel columns each comprising five mutually superposed pixels in the row 9 of pattern elements. Those changes are at a maximum at the respective transition from one pattern element to the next pattern element, when that is a transition from a purely black pixel column to a purely white pixel column, or vice-versa. Those changes are of the value zero within the purely white or purely black pattern elements or at a transition (which does not occur here) from a purely white or purely black to a similar pattern element (that is to say from pattern element 3 to 3 or from 4 to 4) and those changes are of a comparatively small value in the region in which the degree of blackening of the pattern elements changes continuously from left to right.

As can be seen from curve 12, in the transition from white to black there is an upward deflection of the curve while at the transition from black to white there is a downward deflection of the curve. The pattern elements with a continuous change in the degree of blackening, here more specifically in the form of triangles, make it possible for a plurality of positive or negative peaks to occur in succession, as can be seen from Figure 12, which facilitates the production of an encoded pattern.

In line 13 the positive and negative peaks at the region of the pattern element transitions are only replaced by upwardly or downwardly pointing arrows, while line 14 is a binary representation of those arrow directions or peak directions in the form of the digits 1 and 0, wherein positive peaks or upwardly directed arrows are represented by a digit 1 while negative peaks or downwardly directed arrows are represented by a digit 0. In that way the detected structure can be easily processed in the form of digital numbers, more specifically in binary numbers.

Figure 3 shows a surface which is curved in space and on which a pattern is projected, wherein the viewing direction is the direction

perpendicularly to the plane of the paper while the direction of projection on to the pattern is inclined with respect to the viewing direction by the triangulation angle. On the assumption that all perceptible pattern elements in principle occupy the same surface region, it will be noted from the 5 distorted larger shape of those pattern elements that for example regions in which the pattern elements appear to be elongated in a horizontal direction correspond to surface regions which are heavily inclined relative to the projection direction but which are less inclined in the viewing direction, while, where the pattern elements are apparently relatively close 10 together or appear shortened in the horizontal direction, the situation is precisely the reverse. With the relative angle between the viewing direction and the projection direction being known, it is possible to ascertain the exact position of each surface region in space. At the same time however 15 Figure 2 also clearly demonstrates a particular problem which would confront conventional pattern recognition processes under the illustrated imaging conditions, but which is readily overcome by the process of the present invention. More specifically, in the case of the surface whose image is formed, the incidence of light is obviously precisely such that reflections 20 obviously occur in the right-hand edge region of the recognisable pattern, so that in that region the pattern appears substantially lighter than in the remaining region. The lower part of Figure 2 shows a negative representation of the upper pattern so that in this case the right-hand region of the pattern appears substantially darker. That makes recognition 25 of the pattern with conventional pattern recognition processes quite considerably more difficult or even makes it impossible. In accordance with the present invention however only the light-dark boundaries between adjacent pattern elements are detected as unambiguously located points, and those light-dark transitions are also still disposed in the region which is disturbed by a reflection and are always still clearly discernible there as 30 such so that for example they could be unambiguously identified by the digits 0 and 1 in accordance with the evaluation procedure described hereinbefore in relation to Figure 1.

Figure 3 shows a specific example of use in the form of detecting the spatial structures of a human face. While the left-hand part of Figure 3 shows in the form of a photograph the model of a human face on the one hand at about 30° with respect to the plane of symmetry on the face and 5 on the other hand at about 75° relative to the plane of symmetry of the face, the same views are shown at the right with a pattern projected on to the face. In this case the projection direction is in the plane of symmetry of the face and substantially horizontal. With knowledge of the triangulation angle, that is to say the angle between the plane of symmetry of the face 10 and the viewing direction, that is to say the normal to the plane of the drawing, and in addition with knowledge of the real pattern structure which would occur upon projection on to a surface perpendicular to the projection direction, it is possible on the basis of the spacings of the individual light-dark transitions in the imaged projection pattern, by means of suitable 15 evaluation algorithms, to detect and digitally store the spatial structure of the surface of the face. That in turn can be used for the purposes of people recognition and/or for purposes in medicine, as for example in the case of computer-aided, minimal-invasive surgery.

CLAIMS

1. A process for detecting the spatial structure of a three-dimensional surface by projection of a pattern on to the surface along a projection direction which defines a first axis, and by pixel-wise detection of at least one region of the pattern projected on to the surface, by means of one or more sensors in a viewing direction of the sensor or sensors, which defines a second axis, wherein the first and the second axes (or a straight line parallel to the second axis) intersect at an angle different from 0° so that the first and the second axes (or the straight line parallel thereto) define a triangulation plane, wherein the pattern is defined at least upon projection into a plane perpendicularly to the first axis by a varying physical parameter which can be detected by the sensor (sensors), and wherein the pattern is such that the difference in the physically measurable parameter, measured between predetermined image pixels or pixel groups, along a predetermined pixel row which is preferably parallel to the triangulation plane, assumes at least two different values characterised in that, for the purposes of evaluation of the imaged pattern structure only changes in the physical parameter between the predetermined pixels or predetermined pixel groups of one or more pixel rows which are preferably parallel to the triangulation plane are detected and converted into spatial co-ordinates of the surface.
2. A process as set forth in claim 1 characterised in that the difference in the physically measurable parameter between respective adjacent pixels or pixel groups is ascertained along a predetermined direction.
3. A process as set forth in claim 1 or claim 2 characterised in that the pattern is oriented in such a way that the changes in the physically measurable parameter, which occur along a direction, assume in respect of amount at least in part the difference which occurs as a maximum between any equal-sized pixels or pixel groups in the imaged pattern, wherein the

other changes which occur assume along that direction comparatively low values.

4. A process as set forth in one of claims 1 through 3 characterised in that pixels, which are disposed in mutually superposed relationship in a column, of a plurality of parallel pixel rows are assembled to form a pixel group, and the changes in the physical parameter are evaluated between respective ones of such adjacent pixel groups.

5. A process as set forth in claims 1 through 4 characterised in that the pattern is an encoded pattern in which various pattern regions of an adequate size are distinguishable from each other and are fixed in respect of their position within the overall pattern.

6. A process as set forth in one of claims 1 through 5 characterised in that the pattern is formed from pattern elements which each occupy approximately equal-size surface areas in a plane perpendicular to the projection direction.

7. A process as set forth in claim 6 characterised in that there are provided at least two types of pattern elements, in the surface region of which the measurable physical parameter is respectively of an almost constant value, wherein the value of said physical parameter clearly measurably differs between the two types of pattern elements.

8. A process as set forth in claim 6 or claim 7 characterised in that there is provided at least one type of a pattern element in which the value of the physical parameter substantially continuously changes at least within a part of its surface region along a predetermined direction.

9. A process as set forth in claim 8 characterised in that there are provided at least two types of pattern elements which differ by the sign of

the change in the physical parameter within the surface region thereof and along the predetermined direction.

10. A process as set forth in one of claims 5 through 9 characterised in that the various types of pattern elements are arranged in an encoded distribution on the surface of the projected pattern.

11. A process as set forth in one of claims 5 through 10 characterised in that the various types of pattern elements are distributed in a random arrangement over the projection surface.

12. A process as set forth in one of claims 6 through 11 characterised in that the surface region of a pattern element in the imaging plane corresponds to an area of $m \times n$ pixels with $m, n \geq 2$ and $m \ll M$ and $n \ll N$, wherein $M \times N$ is the total number of detected image pixels.

13. A process as set forth in one of claims 5 through 12 characterised in that for pattern encoding and identification of the position of pattern elements, only changes are evaluated which are greater than the changes between adjacent pixels or pixel groups within the pattern elements defined in claims 6 and 7.

14. A process as set forth in one of claims 1 through 13 characterised in that for detecting the spatial structure of the three-dimensional surface at least two measurements with triangulation planes which are angled relative to each other are implemented and combined together.

Abstract

Process for detecting the spatial structure of a
three-dimensional surface

The present invention concerns a process for detecting the spatial structure of a three-dimensional surface by projection of a pattern on to the surface along a projection direction which defines a first axis, and by pixel-wise detection of at least one region of the pattern projected on to the surface, by means of one or more sensors in a viewing direction of the sensor or sensors, which defines a second axis, wherein the first and the second axes (or a straight line parallel to the second axis) intersect at an angle different from 0° so that the first and the second axes (or the straight line parallel thereto) define a triangulation plane, wherein the pattern is defined at least upon projection into a plane perpendicularly to the first axis by a varying physical parameter which can be detected by the sensor (sensors), and wherein the pattern is such that the difference in the physically measurable parameter, measured between predetermined image pixels or pixel groups, along a predetermined pixel row which is preferably parallel to the triangulation plane, assumes at least two different values. In order to provide a process for detecting the spatial structure of a three-dimensional surface, which is substantially independent of different inclinations with respect to a normal to the triangulation plane and also independent of the other surface properties which independently of the spatial extent of the surface can influence the physical parameter to be measured, in accordance with the invention it is proposed that, for the purposes of evaluation of the imaged pattern structure only changes in the physical parameter between the predetermined pixels or predetermined pixel groups of one or more pixel rows which are preferably parallel to the triangulation plane are detected and converted into spatial co-ordinates of the surface.

Figure 1

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts syr9801.pct	WEITERES VORGEHEN	siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)
Internationales Aktenzeichen PCT/DE99/01277	Internationales Anmeldedatum (<i>Tag/Monat/Jahr</i>) 29/04/1999	Prioritätsdatum (<i>Tag/Monat/Tag</i>) 14/05/1998
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK G01B11/24		
Anmelder SYRINX MEDICAL TECHNOLOGIES GMBH et al.		
<p>1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.</p> <p>2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 6 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.</p> <p><input type="checkbox"/> Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).</p> <p>Diese Anlagen umfassen insgesamt Blätter.</p> <p>3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:</p> <p>I <input checked="" type="checkbox"/> Grundlage des Berichts II <input type="checkbox"/> Priorität III <input type="checkbox"/> Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erforderliche Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit IV <input type="checkbox"/> Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung V <input checked="" type="checkbox"/> Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erforderlichen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung VI <input type="checkbox"/> Bestimmte angeführte Unterlagen VII <input checked="" type="checkbox"/> Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung VIII <input checked="" type="checkbox"/> Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung</p>		

Datum der Einreichung des Antrags 07/12/1999	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 02.03.2000
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter  Springer, O Tel. Nr. +49 89 2399 2619

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE99/01277

I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.:*)

Beschreibung, Seiten:

1-16 ursprüngliche Fassung

Patentansprüche, Nr.:

1-14 ursprüngliche Fassung

Zeichnungen, Blätter:

1/3-3/3 ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

Beschreibung, Seiten:
 Ansprüche, Nr.:
 Zeichnungen, Blatt:

3. Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erforderlichen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche 1-14
	Nein: Ansprüche
Erforderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche 1-14
	Nein: Ansprüche
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche 1-14
	Nein: Ansprüche

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE99/01277

2. Unterlagen und Erklärungen

siehe Beiblatt

VII. Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

siehe Beiblatt

VIII. Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Zur Klarheit der Patentansprüche, der Beschreibung und der Zeichnungen oder zu der Frage, ob die Ansprüche in vollem Umfang durch die Beschreibung gestützt werden, ist folgendes zu bemerken:

siehe Beiblatt

Zu Punkt V

Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung:

1. Technisches Gebiet:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche durch Projizieren eines Musters auf die Oberfläche.

2. Unabhängige Ansprüche: Anspruch 1 (Verfahren).

3. Stand der Technik:

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

D1: DE-A-196 38 727 (DIPL ING RUEDGER RUBBERT) 19. März 1998
D2: YEE S R ET AL: 'THREE-DIMENSIONAL IMAGING SYSTEM' OPTICAL ENGINEERING, Bd. 33, Nr. 6, Juni 1994, Seiten 2070-2075, XP000454696 ISSN: 0091-3286
D3: DE-A-44 36 500 (CARL ZEISS JENA GMBH) 11. Mai 1995
D4: US-A-4 867 570 (SORIMACHI KANEHIRO ET AL) 19. September 1989
D5: US-A-4 825 263 (DESJARDINS PAUL J ET AL) 25. April 1989
D6: EP-A-0 294 577 (LBP PARTNERSHIP) 14. Dezember 1988

Die Dokumente D1 bis D6 beschreiben Vorrichtungen bzw. Verfahren zur Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche. Dazu wird ein bestimmtes Muster auf die Oberfläche entlang einer Projektionsachse projiziert. Das Muster wird anschließend mit Hilfe von Bildsensoren, die entlang einer zweiten Achse ausgerichtet sind, pixelweise erfasst. Die beiden Achsen spannen dabei eine Triangulationsebene auf. Die Dokumente D1, D2 und D3 offenbaren weiter die Verwendung kodierten Musterbereiche, d.h. die abgebildeten Musterstrukturen haben unterschiedliche Formen. Dadurch ändert sich die erfassbare physikalische Größe (Helligkeit) zwischen verschiedenen Pixelgruppen.

4. Neuheit - Artikel 33(2) PCT

4.1 Unabhängige Ansprüche 1 und 10:

Der Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 unterscheidet sich von dem nach Dokument D1, welches als nächstliegender Stand der Technik angesehen wird, dadurch, dass zur Auswertung der abgebildeten Musterstruktur jeweils nur Änderungen der physikalischen Größe (Helligkeit) erfasst und in räumliche Koordinaten umgerechnet werden. Somit ist der Gegenstand des Anspruchs 1 neu gegenüber Dokument D1. Alle anderen Dokumente sind weniger relevant.

5. Erfinderische Tätigkeit - Artikel 33(3) PCT

5.1 Unabhängiger Anspruch 1:

Dadurch, dass nur die Änderungen erfasst werden, wird die objektive technische Aufgabe gelöst, eine Vermessung einer dreidimensionalen Oberfläche zu ermöglichen, welche von verschiedenen Neigungen bezüglich einer Normalen zur Triangulationsebene und auch von sonstigen Oberflächeneigenschaften unabhängig ist. Diese Oberflächeneigenschaften werden eliminiert, da die Oberflächenbereiche, die vor allem durch benachbarte Pixel abgebildet werden, die gleichen Eigenschaften haben. Da nicht das Muster hinsichtlich seiner speziellen Maße und Formen erfasst und mit dem ursprünglichen Projektionsmuster verglichen wird, sondern lediglich die in benachbarten Pixelgruppen gemessenen Werte der physikalischen Größe miteinander verglichen werden, wirkt sich die Neigung der Oberfläche gegenüber der Triangulationsebene nicht aus. Solch ein Verfahren ist aus dem zitierten Stand der Technik weder bekannt noch nahegelegt. Die Anforderungen an Artikel 33(3) PCT sind somit erfüllt.

5.2 Abhängige Ansprüche 2 bis 14:

Die abhängigen Ansprüche 2 bis 14 betreffen zusätzliche Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1, auf den sie sich beziehen, und werden aus diesem Grund für neu und erfinderisch angesehen.

6. Industrielle Anwendbarkeit - Artikel 33(4) PCT

Die in den Ansprüchen 1 bis 14 beanspruchte Erfindung ist industriell anwendbar auf dem Gebiet der Erfassung der räumlichen Struktur einer dreidimensionalen Oberfläche durch Projizieren eines Musters auf die Oberfläche.

Zu Punkt VII:

Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung

Um die Erfordernisse der Regel 5.1(a)(ii) PCT zu erfüllen, wären in der Beschreibung die Dokumente D1, D2 und D3 zu nennen gewesen; der darin enthaltene einschlägige Stand der Technik hätte kurz umrissen werden sollen.

Die Merkmale der Ansprüche sind nicht mit in Klammern gesetzten Bezugszeichen versehen worden (Regel 6.2 b) PCT).

Zu Punkt VIII

Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

1. Klarheit - Artikel 6 PCT

Die Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse des Artikels 6 PCT, weil die Ansprüche 1 und 13 nicht klar sind:

1.1 Unabhängiger Anspruch 1:

Die in Klammern gesetzten Ausdrücke "*(oder eine zur zweiten Achse parallele Gerade)*", "*(bzw. die hierzu parallele Gerade)*" und "*(Sensoren)*" sind nicht klar. Es wird nicht deutlich, ob die in Klammern gesetzten Merkmale den Umfang der Ansprüche einschränken sollen oder nicht.

1.2 Abhängiger Anspruch 13:

Der Anspruch 13 ist über Musterelemente aus den Ansprüchen 6 und 7 definiert. Wird der Anspruch 13 auf die Ansprüche 5 und 6 rückbezogen, ergibt sich eine Unklarheit, da der Gegenstand des Anspruchs 6 bzw. 7 dann noch nicht bekannt ist.